



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

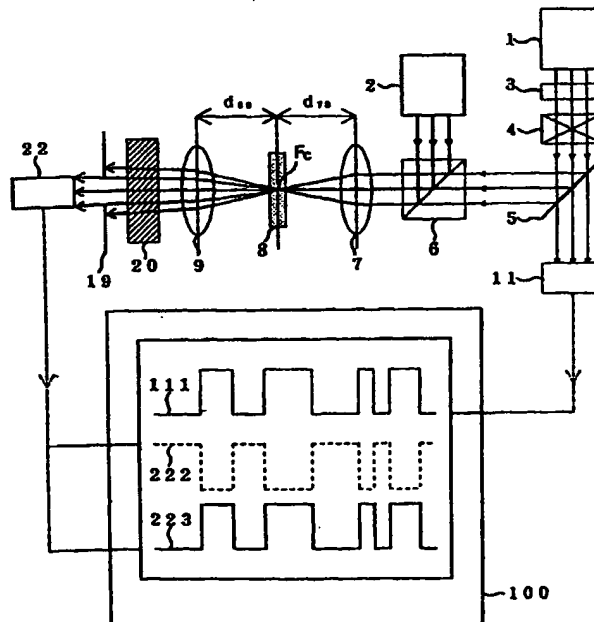
(51) 国際特許分類6 G02F 1/01, 1/29, G02B 3/00		A1	(11) 国際公開番号 WO99/08149
		(43) 国際公開日 1999年2月18日(18.02.99)	
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/03538		(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 田中教雄(TANAKA, Norio)[JP/JP] 柳本宏光(YANAGIMOTO, Hiromitsu)[JP/JP] 〒103-8383 東京都中央区日本橋馬喰町1丁目7番6号 大日精化工業株式会社内 Tokyo, (JP) 上野一郎(UENO, Ichiro)[JP/JP] 辻田公二(TSUJITA, Koji)[JP/JP] 〒221-8528 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地 日本ビクター株式会社内 Kanagawa, (JP)	
(22) 国際出願日 1998年8月7日(07.08.98)		(74) 代理人 弁理士 吉田研二, 外(YOSHIDA, Kenji et al.) 〒180-0004 東京都武蔵野市吉祥寺本町1丁目34番12号 Tokyo, (JP)	
(30) 優先権データ 特願平9/214816 1997年8月8日(08.08.97) JP 特願平9/280145 1997年10月14日(14.10.97) JP		(81) 指定国 US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 工業技術院長が代表する日本国 (JAPAN as represented by DIRECTOR GENERAL OF AGENCY OF INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY)[JP/JP] 〒100-8921 東京都千代田区霞が関1丁目3番1号 Tokyo, (JP) 大日精化工業株式会社(DAINICHISEIKA COLOR & CHEMICALS MFG. CO., LTD.)(JP/JP) 〒103-8383 東京都中央区日本橋馬喰町1丁目7番6号 Tokyo, (JP) (71) 出願人 ; および (72) 発明者 平賀 隆(HIRAGA, Takashi)[JP/JP] 守谷哲郎(MORIYA, Tetsuro)[JP/JP] 〒305-8568 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院 電子技術総合研究所内 Ibaraki, (JP)		添付公開書類 国際調査報告書 補正書	

(54)Title: OPTICAL ELEMENT, OPTICAL CONTROL METHOD AND APPARATUS USING THE OPTICAL ELEMENT, AND METHOD OF MANUFACTURING THE OPTICAL ELEMENT

(54)発明の名称 光学素子およびそれを用いる光制御方法および光制御装置および光学素子の製造方法

(57) Abstract

An optical element, an optical control method and an optical control apparatus, wherein use is made of a low-power laser beam as a control beam to yield a light response of sufficient magnitude and speed. A control beam is projected from a light source (1), while a signal beam is from a light source (2). The control beam and the signal beam are converged by a condenser lens (7) and thrown onto an optical element (8). These beams pass through a light receiving lens (9) and a wavelength selection filter (20), and only the signal beam is detected with a photodetector (22). By turning the control beam on and off, a thermal lens is reversibly formed in the optical element, realizing the modulation of the signal beam intensity. The optical element may be formed in a laminated structure comprising, for example, a heat transfer layer, a heat retaining layer, and a heat transfer layer; and the thickness of the light absorbing layer is adjusted so as not to exceed two times the confocal distance of the converged control beam, thereby providing a light response of sufficient magnitude and speed by the use of a low-power laser beam as a control beam.



(57)要約

低パワーのレーザー光を制御光として用い充分な大きさおよび速度の光応答を発揮するような光学素子、光制御方法および光制御装置を提供する。

光源 1 から制御光が、光源 2 から信号光が射出する。制御光および信号光は集光レンズ 7 で収束され、光学素子 8 に照射される。受光レンズ 9 および波長選択フィルター 20 を経て光検出器 22 で信号光のみが検出される。制御光の ON、OFF により光学素子内に熱レンズが可逆的に形成され、信号光の強度変調が実現する。光学素子の構成を、例えば伝熱層膜／保温層膜／光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜からなる積層構造にし、光吸収層膜の厚さを収束された制御光の共焦点距離の 2 倍を越えないよう調節することによって、低パワーのレーザー光を制御光として用い充分な大きさおよび速度の光応答を得ることができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TC	ターゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	ML	マリ	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MR	モリタニア	US	米国
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IL	イスラエル	MX	メキシコ	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IN	インド	NE	ニジェール	VN	ユーゴスラビア
CI	コートジボアール	IS	アイスランド	NL	オランダ	YU	ジンバブエ
CM	カメルーン	IT	イタリア	NO	ノルウェー		
CN	中国	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CU	キューバ	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CY	キプロス	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CZ	チェコ	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DE	ドイツ	KR	韓国	RU	ロシア		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
EE	エストニア	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		
ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール		

明細書

光学素子およびそれを用いる光制御方法および光制御装置および光学素子の製造方法

技術分野

本発明は、例えば光通信、光情報処理などの光エレクトロニクスおよびフォトリソグラフィの分野において有用な、光学素子およびそれを用いる光制御方法および光制御装置および光学素子の製造方法に関するものである。

背景技術

超高速情報伝達・処理を目的として、光の多重性、高密度性に着目した光エレクトロニクスおよびフォトリソグラフィの分野において、光学材料または光学組成物を加工して作成した光学素子に光を照射することで引き起こされる透過率や屈折率の変化を利用して、電子回路技術を用いずに、光の強度（振幅）または周波数（波長）を変調しようとする光・光制御方法の研究開発が盛んに進められている。また、光の特徴を活かして、並列光論理演算や画像処理を行おうとする場合、光ビームの断面に光強度分布変化など、何等かの変調を行うための「空間光変調器」が極めて重要であり、ここへも光・光制御方法の適用が期待される。

光・光制御方法への応用が期待される現象としては可飽和吸収、非線形屈折、フォトリフラクティブ効果などの非線形光学効果、およびフォトリソグラフィ現象が広く注目を集めている。

一方、第一の波長帯域の光で励起された分子が、分子構造の変化を伴わずに、第一の波長帯域とは異なる第二の波長帯域において新たに光吸収を起こす現象も知られており、これを「励起状態吸収」または「誘導吸収」、あるいは「過渡吸収」と呼ぶことができる。

励起状態吸収の応用を試みた例としては、例えば、特開昭53-137884号公報にはポルフィリン系化合物と電子受容体を含んだ溶液または固体に対して波長の異なる少なくとも二種類の光線を照射し、この照射により一方の波長の光

線が有する情報を他方の光線の波長に移すような光変換方法が開示されている。

また、特開昭55-100503号公報および特開昭55-108603号公報にはポルフィリン誘導体などの有機化合物の基底状態と励起状態の間の分光スペクトルの差を利用し、励起光の時間的な変化に対応して伝搬光を選択するような機能性の液体コア型光ファイバーが開示されている。また、特開昭61-129621には、酸化ウランウムをドーブしたバリウムクラウンガラスからなるファイバーに、第一光子束を減衰しないように導入し、第二光子束を導入することにより第一光子束を減衰させると共に、ファイバーのエネルギーレベル2をポピュレイトし、第一光子束の一部が吸収されてエネルギーレベル3をポピュレイトし、エネルギーレベル3の一部が再びエネルギーレベル2に戻って第一光子束を更に減衰させる段階を含む放射エネルギー透過制御方法が開示されている。また、特開昭63-89805号公報には光によって励起された三重項状態から更に上位の三重項状態への遷移に対応する吸収を有するポルフィリン誘導体などの有機化合物をコア中に含有しているプラスチック光ファイバーが開示されている。また、特開昭63-236013号公報にはクリプトシアニンなどのシアニン色素の結晶に第一の波長の光を照射して分子を光励起した後、第一の波長とは異なる第二の波長の光を前記分子に照射し、第一の波長の光による光励起状態によって第二の波長の光の透過または反射をスイッチングするような光機能素子が開示されている。また、特開昭64-73326号公報にはポルフィリン誘導体などの光誘起電子移動物質をマトリックス材料中に分散した光変調媒体に第一および第二の波長の光を照射して、分子の励起状態と基底状態の間の吸収スペクトルの差を利用して光変調するような光信号変調媒体が開示されている。

これら従来技術で用いられている光学装置の構成としては、特開昭55-100503号公報、特開昭55-108603号公報、および特開昭63-89805号公報には伝搬光の伝播する光ファイバーを励起光の光源（例えばフラッシュランプ）の周囲に巻きつけるような装置構成が開示されており、特開昭53-137884号公報および特開昭64-73326号公報には光応答性光学素子内部の信号光に相当する光の伝播している部分全体に信号光の光路とは別の方向から制御光に相当する光を収束させることなくむしろ投射レンズなどの手段によ

って拡散させて照射するような装置構成が開示されている。

更に、従来技術においては、熱効果による屈折率分布を利用して光の変調を行う方法も検討されている。特開昭59-68723号公報には、発熱抵抗体へ入力電気信号を通電し、前記発熱手段からの熱を受け屈折率分布を生じる液体媒体中の屈折率分布によって、光束の波面を変形するような光変調素子が開示されており、KHzのオーダー、すなわちミリ秒のオーダーで屈折率分布形成から消滅までのサイクルを行うことができると記載されている。また、特開昭60-130723号公報には、近赤外線制御光を熱吸収層で熱エネルギーに変換し、この熱を近赤外線反射膜層および可視光線反射膜層を通じて熱効果媒体まで伝熱させ、熱効果媒体中に発生する屈折率分布によって、可視光線反射膜層へ入射する光束の波面を変換する方法が開示されている。

しかしながら、上述の熱効果による屈折率分布を利用した光の変調を行う方法は、熱効果を生ずるまでの熱の伝達経路が長く、かつ、制御光ビーム断面積よりも温度上昇部分の面積が拡大しながら伝達されるため伝達経路の体積、すなわち熱容量が大きくなって、制御光から与えられるエネルギーの利用効率が低く、また、高速応答も望めない。

また、上述したいずれの従来技術も、実用に足りる大きさの透過率変化または屈折率変化を引き起こすため、非常に高密度の光パワーを必要としたり、光照射に対する応答が遅かったり、光学系の微妙な調整が必要で、かつ光学系の多少の変動で制御光出力が大きく変動したりするため、実用に至るものは未だ得られていないのが現状である。

上記従来技術の有する課題を解消し、できる限り低い光パワーで十分な大きさおよび速度の光応答を光応答性の光学素子から引き出すことを目的として、光制御方法および光制御装置に関して、以下のような2つの発明が開示されている。特開平8-286220号公報には、光応答性組成物からなる光学素子に制御光を照射し、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および／または屈折率を可逆的に変化させることにより前記光学素子を透過する前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御方法において、前記制御光および前記信号光を各々収束させて前記光学素子へ照射し、かつ、前記制御光および前記

信号光のそれぞれの焦点の近傍の光子密度が最も高い領域が前記光学素子中において互いに重なり合うように前記制御光および前記信号光の光路をそれぞれ配置することを特徴とする光制御方法が開示されている。また、特開平 8-151133 号公報には、特開平 8-286220 号公報に開示されている方法において、更に、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束のうち、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法、および、前記光学素子を透過または反射した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲（開口角）で取り出すことによって、前記強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法が開示されている。これらの方法は、優れているものの、

「前記制御光および前記信号光を各々収束させて前記光学素子へ照射し、かつ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点の近傍の光子密度が最も高い領域が前記光学素子中において互いに重なり合うように前記制御光および前記信号光の光路をそれぞれ配置する」という必要要件を満たすための光学系の調整は決して容易でなく、また、装置構成要素の変動の影響を受けやすいという課題があった。

本発明は、上記課題を解決し、できる限り低い光パワーで十分な大きさおよび速度の光応答を光応答性の光学素子から引き出すような光制御方法および制御装置を提供することを目的とする。本発明は、更に、光学系の調整がし易く、かつ多少の変動も許容できるようにした光制御方法および光制御装置を提供することを目的とする。

一方、従来、プラスチックマイクロレンズの製造方法としては、例えば、モノマーの浸透・拡散を利用して、有機高分子系材料（プラスチック）を用い、屈折率分布平面型レンズを作成する方法が文献 [M. Oikawa, K. Iga, T. Sanada: Jpn. J. Appl. Phys., 20(1), L51-L54(1981)] に記載されている。すなわち、モノマー交換技術によって、屈折率分布レンズを平坦な基板上にモノリシックに作ることができ、例えば、低屈折率プラスチックとしてのメタクリル酸メチル ($n = 1.494$) を、 $3.6\text{ mm } \phi$ の円形ディスクのマスクのまわりから、高屈折率を持つポリイ

ソフタル酸ジアクリル ($n = 1.570$) の平坦なプラスチック基板中へ拡散させる。

しかしながら、この方法によって所定の屈折率分布を持った平面型マイクロレンズを作製するには、屈折率が異なると同時にモノマー交換法が可能な樹脂の組み合わせの選定、上記円形ディスクの大きさの選定、モノマー交換時の温度条件の選定および制御など、製造条件の設定が複雑であるという課題がある。

また、熱可塑性高分子化合物のシート表面に型押しする方法によるプラスチックマイクロレンズアレイの製造方法が文献 [P. Pantelis, D. J. McCartney: Pure Appl. Opt., 3(2), 103-108 (1994)] に記載されている。例えばポリカーボネイト製のシートを高温プレス技術によって熱成形して直径約 1 ないし 2 mm のレンズを多数ならべたレンズアレイを安価に製造できると記載されている。この方法の場合、型押しするための原版の製造方法に改善すべき余地が多く残されている。

更に、文献 [Y. Koike, A. Kanemitsu, Y. Shioda, E. Nihei, Y. Ohtsuka: Appl. Opt., 33(16), 3394-3400 (1994)] には、アクリル樹脂の懸濁重合によって直線および二次の球状屈折率分布を持つ、球面収差の小さい屈折率分布型ポリマー球レンズ (直径 0.5 ~ 1.1 mm) を作製したと記載されている。容易に理解できるように、この方法を用いて、サイズおよび屈折率分布の両方を同時に制御して設計通りのマイクロレンズを製造するには制約が多い。

本発明は、以上の通りの従来技術の欠点を解消し、サイズ、形状および屈折率の制御されたプラスチックマイクロレンズを設けた光学素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

発明の開示

上記目的を達成するために、本願の請求項 1 記載の発明に係る光学素子は、少なくとも光吸収層膜を含む光学素子中の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レン

ズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光学素子において、前記光吸収層膜の厚さが、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を越えないことを特徴とする。

ここで、信号光および制御光は、反射による損失を最小限にするため、前記光学素子へほぼ垂直に入射するものとする。

また、ここで共焦点距離とは、凸レンズなどの収束手段で収束された光束がビームウエスト（焦点）の近傍において、ほぼ平行光と見なすことのできる区間の距離である。進行方向ビーム断面の電場の振幅分布、すなわち光束のエネルギー分布がガウス分布となっているガウスビームの場合、共焦点距離 Z_c は、円周率 π 、ビームウエスト半径 ω_0 、および波長 λ を用いた式（1）で表すことができる。

$$Z_c = \pi \omega_0^2 / \lambda \quad \dots (1)$$

なお、光吸収層膜の膜厚の下限については、光応答が検知できる限りにおいて、薄ければ薄いほど好ましい。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項2記載の発明に係る光学素子は、請求項1に記載の光学素子において、

前記光吸収層膜の片側または両側に、前記制御光および前記信号光の波長帯域において光透過性の保温層膜が設けられていることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項3記載の発明に係る光学素子は、請求項1または請求項2に記載の光学素子において、

前記保温層膜が存在しない場合には、前記光吸収層膜の片側または両側に前記伝熱層膜が設けられ、

一方、前記保温層膜が存在する場合、前記光吸収層膜の片側または両側に、前記保温層膜を介して、伝熱層膜が設けられていることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項4記載の発明に係る光学素子は、請求項1ないし3のいずれかに記載の光学素子において、

前記光吸収層膜および／または前記保温層膜および／または前記伝熱層膜が自己形態保持性の材質からなることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 5 記載の発明に係る光学素子は、請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の光学素子において、

収束されて照射された前記制御光および前記信号光が通過できる大きさの孔を設けた光反射膜が、前記光吸収層膜の制御光入射側に設けられ、または前記保温層膜および／または伝熱層膜が存在する場合には前記保温層膜および／または伝熱層膜を介して設けられていることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 6 記載の発明に係る光学素子は、請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の光学素子において、

前記光吸収層膜が、前記制御光の波長帯域の光を吸収する色素ないし色素分子凝集体を含有していることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 7 記載の発明に係る光学素子は、請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の光学素子において、

前記光吸収膜、保温層膜、光反射膜のいずれかを介して、光透過膜層が設けられ、

更に前記制御光の収束手段としての凸レンズが、前記光透過層膜を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 8 記載の発明に係る光学素子は、

1 個以上の凹面を有するレンズ原版と基板との間の平凸レンズ型空洞内に樹脂を充填することによって基板上に凸レンズを形成し、前記凸レンズの焦点位置に光機能発現部位を配置するものとし、前記光機能発現部位へ入射する光を前記凸レンズによって各々収束させ光束密度を増大させて前記光機能発現部位へ照射することを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 9 記載の発明に係る光学素子は、請求項 8 に記載の光学素子であって、

少なくとも光吸収層膜を有し、前記光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を前記凸レンズによって各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域

およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 10 記載の発明に係る光学素子は、請求項 8 または請求項 9 に記載の光学素子において、

前記凸レンズが、前記レンズ原版と基板との間の平凸レンズ型空洞内に充填された熱可塑性樹脂粉末を加熱溶融圧縮することによって形成されていることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 11 記載の発明に係る光制御方法は、

請求項 1 ないし 6 または請求項 9 のいずれかに記載の光学素子の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 12 記載の発明に係る光制御方法は、

請求項 7 または請求項 9 に記載の光学素子に設けられた前記凸レンズに、前記制御光および前記信号光を各々平行ビームとして照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 13 記載の発明に係る光制御方法は、請求項 11 または請求項 12 に記載の光制御方法において、

前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出すことによって、

強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 1 4 記載の発明に係る光制御装置は、

請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の光学素子の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御装置において、

前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段を有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なるように、前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、

また、前記光学素子の前記光吸収層膜は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合う位置に配置されていることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 1 5 記載の発明に係る光制御装置は、

請求項 7 または請求項 9 に記載の光学素子に設けられた前記凸レンズに、前記制御光および前記信号光を各々平行ビームとして照射し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることにより、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御装置において、

前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段として前記凸レンズを有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合うように、前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、

更に、前記光学素子の前記光吸収層膜は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合う位置に

配置されていることを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 16 記載の発明に係る光制御装置は、請求項 14 または請求項 15 に記載の光制御装置において、

強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すための手段として、前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出す手段を設けたことを特徴とする。

また、上記目的を達成するために、本願の請求項 17 記載の発明に係る光学素子の製造方法は、

1 個以上の凹面を有するレンズ原版と基板との間の平凸レンズ型空洞内に樹脂を充填することによって基板上に凸レンズを形成する方法において、前記レンズ原版の母材表面にフォトレジストを塗布し、前記フォトレジスト上に複数の孔を有するパターンを形成した後に母材のエッチングを行い、その際に、フォトレジスト自身のエッチングも進行させることにより前記孔の直径がエッチング工程の進行と共に増大するようにして母材表面に凹面を形成させる方法で作成したレンズ原版を用いることを特徴とする。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明を実施する際に用いられる装置構成を例示した構成図である。

図 2 は、光学素子の透過率スペクトルである。

図 3 は、集光レンズなどで収束されたガウスビームの焦点近傍における様子を表した模式図である。

図 4 は、光学素子中での信号光と制御光との関係を模式的に示した図である。

図 5 は、最小収束ビーム径位置を光学素子の集光レンズに近いところに設定したときの制御光および信号光の光強度時間変化を例示した図である。

図 6 は、最小収束ビーム径位置を光学素子の受光レンズに近いところに設定したときの制御光および信号光の光強度時間変化を例示した図である。

図 7 は、光強度分布測定に用いたスリットと光ビームとの関係を示す図である。

図 8 は、信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

図 9 は、信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

図 10 は、信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

図 11 は、本発明の光学素子製造工程における一段階を例示した図であり、
(a) は断面図、(b) は平面図である。

図 12 は、本発明の光学素子製造工程における一段階を例示した図であり、
(a) は断面図、(b) は平面図である。

図 13 は、本発明の光学素子製造工程における一段階を例示した図であり、
(a)、(b) とともに断面図である。

図 14 は、本発明の光学素子製造工程における一段階を例示した図であり、断面図である。

図 15 は、本発明の光学素子製造工程の一段階において、基板上に形成された複数の平凸レンズを例示した図であり、断面図である。

図 16 は、本発明の光学素子の構成例を例示した断面図である。

図 17 は、本発明の光学素子の構成例を例示した断面図である。

図 18 は、本発明を実施する際に用いられる装置構成を例示した構成図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施形態について説明する。

[光学素子の構成]

本発明の光学素子は単層型または積層膜型構造を有し、その構成としては以下のような組み合わせを挙げることができる

- (1) 光吸収層膜単独
- (2) 光吸収層膜／保温層膜
- (3) 保温層膜／光吸収層膜／保温層膜
- (4) 光吸収層膜／伝熱層膜
- (5) 伝熱層膜／光吸収層膜／伝熱層膜
- (6) 光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

(7) 伝熱層膜／光吸収層膜／保温層膜

(8) 伝熱層膜／光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

(9) 伝熱層膜／保温層膜／光吸収層膜／保温層膜

(10) 伝熱層膜／保温層膜／光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜

(11) 凸レンズ／光透過層膜／上記(1)ないし(10)の光学素子。

積層膜の構成が非対称な場合、例えば、上記(2)「光吸収層膜／保温層膜」のような場合、制御光を光吸収層膜側から入射させても良いし、保温層膜側から入射させても良い。従って、凸レンズ／光透過層膜を積層した場合の構成は、例えば次のようになる

(12) 凸レンズ／光透過層膜／光吸収層膜／保温層膜

(13) 凸レンズ／光透過層膜／保温層膜／光吸収層膜。

収束されて照射された前記制御光および前記信号光が通過できる大きさの孔を設けた光反射膜を前記光吸収層膜の制御光入射側に、前記保温層膜および／または伝熱層膜が存在する場合には前記保温層膜および／または伝熱層膜を介して設ける。その場合の構成は、次のようになる

(14) 光反射膜／上記(1)型ないし(10)型の光学素子

(15) 凸レンズ／光透過層膜／光反射膜／上記(1)型ないし(10)型の光学素子。

なお、必要に応じて光の入射面および出射面に反射防止膜層を設けても良い。

本発明の光学素子の構成を例示した断面図を図16に示す。図16に示すように、光学素子は、制御光S1および信号光S2の入射側から、凸レンズ87／光透過層膜86／孔83を設けた反射膜84／保温層膜81／光吸収層膜80／保温層膜81／伝熱層膜82の順に積層されてなる。

光吸収層膜、保温層膜、伝熱層膜、および光反射膜の材料、作成方法、各々の膜厚、光反射膜の孔の大きさなどについて、以下に、順を追って説明する。

〔光吸収層膜の材料〕

本発明の光学素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性の材料としては、公知の種々のものを使用することができる。

本発明の光学素子が光吸収層膜単独の単層型構造である場合、光吸収層膜は自

己形態保持性の材質である必要がある。ここで、自己形態保持性の材質とは、光学素子としての形態（薄膜）を、支持手段なしに維持できるような性状を有する材料のことをいう。例えば、無機ガラス材質であれば、数 μm の厚さで、数mm角の大きさの光学素子としての形態を「自己形態保持」することができるものである。一方、色素を含有したポリメタクリル酸メチルのような材料を用いて数 μm の厚さの光吸収膜を形成させる場合は、何等かの支持手段が必要である。このような場合は、例えば、後述のように、無機ガラス材質からなる伝熱層膜を支持手段を兼ねて、組み合わせて用いる必要がある。

本発明の光学素子が積層型構造であっても、光吸収性材料自身に自己形態保持能力があれば、光学素子の構成を設計する際の自由度が増す。一方、後に述べる保温層膜および／または伝熱層膜が自己形態保持性であれば、光吸収層膜が自己形態保持性でなくても差し支えない。

本発明の光学素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性の材料の例を具体的に挙げるならば、例えば、GaAs、GaAsP、GaAlAs、InP、InSb、InAs、PbTe、InGaAsP、ZnSeなどの化合物半導体の単結晶、前記化合物半導体の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、異種金属イオンをドーブした金属ハロゲン化物（例えば、臭化カリウム、塩化ナトリウムなど）の単結晶、前記金属ハロゲン化物（例えば、臭化銅、塩化銅、塩化コバルトなど）の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、銅などの異種金属イオンをドーブしたCdS、CdSe、CdSeS、CdSeTeなどのカドミウムカルコゲナイドの単結晶、前記カドミウムカルコゲナイドの微粒子をマトリックス材料中に分散したもの、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体単結晶薄膜、多結晶薄膜ないし多孔質薄膜、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、ルビー、アレキサンドライト、ガーネット、Nd:YAG、サファイア、Ti:サファイア、Nd:YLFなど、金属イオンをドーブした宝石に相当する単結晶（いわゆるレーザー結晶）、金属イオン（例えば、鉄イオン）をドーブしたニオブ酸リチウム（ LiNbO_3 ）、 LiB_3O_5 、 LiTaO_3 、 KTiOPO_4 、 KH_2PO_4 、 KNbO_3 、 BaB_2O_7 などの強誘電性結晶、金属イオン（例えば、ネオジウムイオン、

エルビウムイオンなど)をドーブした石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラス、その他のガラスなどのほか、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したものを好適に使用することができる。

これらの中でも、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したものは、マトリックス材料および色素の選択範囲が広く、かつ光学素子への加工も容易であるため、本発明で特に好適に用いることができる。

本発明で用いることができる色素の具体例としては、例えば、ローダミンB、ローダミン6G、エオシン、フロキシンBなどのキサンテン系色素、アクリジンオレンジ、アクリジンレッドなどのアクリジン系色素、エチルレッド、メチルレッドなどのアゾ色素、ポリフィリン系色素、フタロシアニン系色素、3, 3'-ジエチルチアカルボシアニンヨージド、3, 3'-ジエチルオキサジカルボシアニンヨージドなどのシアニン色素、エチル・バイオレット、ビクトリア・ブルーRなどのトリアリールメタン系色素などを好適に使用することができる。

本発明では、これらの色素を単独で、または、2種以上を混合して使用することができる。

本発明で用いることのできるマトリックス材料は、

- (1) 本発明の光制御方法で用いられる光の波長領域で透過率が高いこと、
 - (2) 本発明で用いられる色素または種々の微粒子を安定性良く溶解または分散できること、
 - (3) 前述のように必要に応じて自己形態保持性であること、
- という条件を満足するものであれば任意のものを使用することができる。

無機系のマトリックス材料としては、例えば金属ハロゲン化物の単結晶、金属酸化物の単結晶、金属カルコゲナイドの単結晶、石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラスなどの他、いわゆるゾルゲル法で作成された低融点ガラス材料などを使用することができる。

また、有機系のマトリックス材料としては、例えば種々の有機高分子材料を使用することができる。

これらのマトリックス材料中へ色素を溶解または分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、色素とマトリックス材料を共通の溶媒中へ溶解し

て混合した後、溶媒を蒸発させて除去する方法、ゾルゲル法で製造する無機系マトリックス材料の原料溶液へ色素を溶解または分散させてからマトリックス材料を形成する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、色素を溶解または分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、色素と有機高分子系マトリックス材料を共通の溶媒中に溶解した溶液を、色素および熱可塑性の有機高分子系マトリックス材料の両方が不溶の溶剤中へ滴下し、生じた沈殿を濾別し乾燥してから加熱・溶融加工する方法などを好適に用いることができる。色素とマトリックス材料の組み合わせおよび加工方法を工夫することで、色素分子を凝集させ、「H会合体」や「J会合体」などと呼ばれる特殊な会合体を形成させられることが知られているが、マトリックス材料中の色素分子をこのような凝集状態もしくは会合状態を形成する条件で使用しても良い。

また、これらのマトリックス材料中へ前記の種々の微粒子を分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、前記微粒子をマトリックス材料の溶液、または、マトリックス材料の前駆体の溶液に分散した後、溶媒を除去する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、前記微粒子を分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、微粒子の前駆体として、例えば過塩素酸カドミウムや塩化金などの金属塩を有機高分子系マトリックス材料中へ溶解または分散した後、硫化水素ガスで処理して硫化カドミウムの微粒子を、または、熱処理することで金の微粒子を、それぞれマトリックス材料中に析出させる方法、化学的気相成長法、スパッタリング法などを好適に用いることができる。

なお、本発明で用いられる光吸収性材料は、その機能に支障をきたさない範囲において、加工性を向上させたり、光学素子としての安定性・耐久性を向上させるため、添加物として公知の酸化防止剤、紫外線吸収剤、一重項酸素クエンチャー、分散助剤などを含有しても良い。

[保温層膜の材料]

保温層膜としては気体、液体、および、固体の材料を用いることができる。保温層膜の材質が気体や液体の場合のように、自己形態保持性でない場合は、例え

ば、光吸収層膜および伝熱層膜を自己形態保持性の材質で作成し、保温層膜の厚さに相当する空乏を設け、そこへ気体または液体の保温層膜材料を注入することで、保温層膜を作成することができる。保温層膜の材質が固体の場合は、光吸収層膜に保温層膜を積層させて作成すれば良い。

保温層膜の厚さは、用いる材料の種類にもよるが、数ナノメートルから数百 μm の範囲の厚さであれば良く、数十ナノメートルから数十 μm の範囲であれば特に好適である。

保温層膜として気体を用いる場合は、空気その他、窒素、ヘリウム、ネオン、アルゴンなどの不活性ガスを好適に用いることができる。

保温層膜として液体を用いる場合は、熱伝導率が光吸収層膜と同等か光吸収層膜よりも小さい材質であって、かつ、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜の材質を溶解または腐食しないものであれば、任意の液体を用いることができる。例えば、光吸収層膜がシアニン色素を含有したポリメタクリル酸メチルからなる場合、流動性パラフィンを用いることができる。

保温層膜として固体を用いる場合は、熱伝導率が光吸収層膜と同等か光吸収層膜よりも小さい材質であって、かつ、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜や伝熱層膜の材質と反応しないものであれば、任意の固体を用いることができる。例えば、光吸収層膜がシアニン色素を含有したポリメタクリル酸メチルからなる場合、色素を含まないポリメタクリル酸メチル [300K における熱伝導率 $0.15\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] を保温層膜として用いることができる。

〔伝熱層膜の材料〕

伝熱層膜としては、熱伝導率が光吸収層膜よりも大きい材質が好ましく、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜や保温層膜の材質と反応しないものであれば、任意のものを用いることができる。熱伝導率が高く、かつ、可視光線の波長帯域における光吸収が小さい材質として、例えば、ダイヤモンド [300K における熱伝導率 $900\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]、サファイア [同 $46\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]、石英単結晶 [c軸に平行方向で同 $10.4\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]、石英ガラス [同 $1.38\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]、硬質ガラス [同 $1.10\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]などを伝熱層膜として好適に用いることができる。

〔光反射膜の材料〕

光反射膜としては、制御光および信号光を反射し、光吸収層膜、保温層膜および伝熱層膜の材質と反応しないものであれば、任意のものを用いることができる。アルミニウムや金などの金属薄膜、もしくは、酸化チタンと酸化ケイ素の交互積層膜からなる誘電体多層膜を光反射膜として好適に用いることができる。

〔凸レンズの材料〕

本発明の光学素子実施形態の一つは、前記制御光の収束手段としての凸レンズが、光透過層膜を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていることを特徴とするが、この凸レンズの材質としては、公知の、任意のものを使用することができる。例えば、ポリメチルメタクリル酸エステル系樹脂などのプラスチック、光学ガラスなどを好適に使用することができる。

〔光透過層膜の材料〕

本発明の光学素子実施形態の一つは、前記制御光の収束手段としての凸レンズが、光透過層膜を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていることを特徴とするが、光透過層膜の材質としては、固体の保温層膜および／または伝熱層膜の材質と同様のものを使用することができる。

〔光学素子の作成方法〕

本発明の光学素子の作成方法は、光学素子の構成および使用する材料の種類に応じて任意に選定され、公知の方法を用いることができる。

例えば、光学素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性の材料が、前述のような単結晶の場合、単結晶の切削・研磨加工によって、光吸収層膜を作成することができる。

例えば、色素を含有したマトリックス材料からなる光吸収層膜と、光学ガラスを伝熱層膜として組み合わせて用いた「光吸収層膜／伝熱層膜」という積層型構造の光学素子を作成する場合、以下に列挙するような方法によって、光吸収層膜を作成することができる。

色素およびマトリックス材料を溶解した溶液を、伝熱層膜として用いられるガラス板上に塗布法、ブレードコート法、ロールコート法、スピコート法、ディッピング法、スプレー法などの塗工法で塗工するか、あるいは、平版、凸版、凹

版、孔版、スクリーン、転写などの印刷法で印刷して光吸収膜層を形成する方法。この場合、光吸収膜層の形成にゾルゲル法による無機系マトリックス材料作成方法を利用することもできる。

電着法、電解重合法、ミセル電解法（特開昭63-243298号報）などの電気化学的成膜手法を用いることができる。

水の上に形成させた単分子膜を移し取るラングミア・ブロッジェット法を用いることができる。

光吸収層膜を形成する有機高分子系マトリックス材料が熱可塑性の場合、ガラス板を伝熱層膜として組み合わせることによって、ホットプレス法（特開平4-99609号公報）を用いて「伝熱層膜／光吸収膜層／伝熱膜層」という積層型構造の光学素子を作成することができる。

原料モノマーの重合ないし重縮合反応を利用する方法として、例えば、モノマーが液体の場合、キャストリング法、リアクション・インジェクション・モールド法、プラズマ重合法、および、光重合法などが挙げられる。

昇華転写法、蒸着法、真空蒸着法、イオンビーム法、スパッタリング法、プラズマ重合法、CVD法、有機分子線蒸着法、などの方法を用いることもできる。

2成分以上の有機系光学材料を溶液または分散液状態で各成分毎に設けた噴霧ノズルから高真空容器内に噴霧して基板上に堆積させ、加熱処理することの特徴とする複合型光学薄膜の製造方法（特許公報第2599569号）を利用することもできる。

以上のような固体の光吸収層膜の作成方法は、例えば、固体の有機高分子材料からなる保温層膜を作成する場合にも、好適に使用することができる。

〔光反射膜に孔を設ける方法〕

本発明の光学素子実施形態の一つは、収束されて照射された前記制御光および前記信号光が通過できる大きさの孔を設けた光反射膜を有することを特徴とするが、光反射膜に、この孔を設ける方法としては、公知の任意の方法を用いることができる。例えば、ガラス性の伝熱層膜上に設けられた、金属蒸着膜からなる光反射膜にフォトレジストを塗工した後、定法に従って、フォトエッチングの手法によって、孔を設けることができる。孔の形および大きさについては後で述べる。

〔ビームウエスト直径の計算〕

以下、進行方向ビーム断面の電場の振幅分布、すなわち光束のエネルギー分布がガウス分布となっているガウスビームの場合について述べる。なお、以下の説明では、ビーム収束手段として集光レンズ（凸レンズ）を用いる場合について説明するが、収束手段が凹面鏡や屈折率分散型レンズであっても同様である。

ガウスビームを、集光レンズなどで、開き角 2θ で収束させたときの焦点 F 。近傍における光線束および波面 30 の様子を図 3 に示す。ここで、波長 λ のガウスビームの直径 2ω が最小になる位置を「ビームウエスト」という。以下、ビームウエスト直径を $2\omega_0$ で表すものとする。光の回折作用のため、 $2\omega_0$ はゼロにはならず、有限の値を持つ。なお、ビーム半径 ω や ω_0 の定義は、ガウスビームのビーム中心部分のエネルギーを基準として、エネルギーが $1/e^2$ （ e は自然対数の底）になる位置をビーム中心から測ったときの距離である。いうまでもなく、ビームウエストの中心において、光子密度は最も高い。

ガウスビームの場合、ビームウエストから十分に遠方でビーム広がり角 θ は波長 λ およびビームウエスト径 ω_0 と、次の式（2）で関係付けられる。

$$\pi \cdot \theta \cdot \omega_0 \cong \lambda \quad \dots (2)$$

ここで、 π は円周率である。

「ビームウエストから十分に遠方」という条件を満たす場合に限りこの式を用いて、集光レンズに入射するビーム半径 ω 、集光レンズの開口数および焦点距離から、集光レンズで集光されたビームウエスト径 ω_0 を計算することができる。

更に一般的に、有効開口半径 a および開口数 NA の集光レンズで、ビーム半径 ω の平行ガウスビーム（波長 λ ）を収束させた場合のビームウエスト直径 $2\omega_0$ は、次の式（3）で表すことができる。

$$2\omega_0 \cong k \cdot \lambda / NA \quad \dots (3)$$

ここで、係数 k は代数的に解くことができないため、レンズ結像面での光強度

分布についての数値解析計算を行うことによって決定することができる。

集光レンズに入射するビーム半径 ω と集光レンズの有効開口半径 a の比率を変えて、数値解析計算を行うと、式(3)の係数 k の値は以下のように求まる。

$$a/\omega = 1 \text{ のとき } k \approx 0.92$$

$$a/\omega = 2 \text{ のとき } k \approx 1.3$$

$$a/\omega = 3 \text{ のとき } k \approx 1.9$$

$$a/\omega = 4 \text{ のとき } k \approx 3$$

すなわち、集光レンズの有効開口半径 a よりもビーム半径 ω が小さければ小さい程、ビームウエスト径 ω_0 は大きくなる。

例えば、集光レンズとして焦点距離6.2mm、開口数0.65、有効開口半径約4mmのレンズを用い、波長694nmの信号光を収束したとき、集光レンズに入射するビーム半径 ω が4mmであれば a/ω は約1で、ビームウエストの半径 ω_0 は0.49 μ m、 ω が1mmであれば a/ω は約4で ω_0 は1.6 μ mと計算される。同様にして波長633nmの制御光を収束したとき、ビーム半径 ω が4mmであれば a/ω は約1で、ビームウエストの半径 ω_0 は0.45 μ m、 ω が1mmであれば a/ω は約4で ω_0 は1.5 μ mと計算される。

この計算例から明らかなように、集光レンズの焦点近傍の光子密度が最も高い領域、すなわちビームウエストにおける光ビームの断面積を最小にするには、集光レンズが受光可能な最大限まで、ビーム径を拡大(ビームエキスパンド)すれば良い。また、集光レンズへ入射するビーム径が同一の場合、光の波長が短い程、ビームウエスト径は小さくなることも判る。＝

本発明の光制御方法において光応答を大きくするには、焦点近傍の光子密度が最も高い領域における前記信号光のビーム断面積が、焦点近傍の光子密度が最も高い領域における前記制御光のビーム断面積を越えないように前記信号光および前記制御光のビーム断面の形状および大きさをそれぞれ設定することが好ましい。信号光および制御光ともにガウスビームを用いる場合であれば、以上の説明および計算式に従って、集光レンズなどの収束手段で収束する前の平行ビームの状態

で、波長に応じて、信号光および制御光のビーム径を、必要に応じてビームエキスパンドするなどして、調節することによって、焦点近傍の光子密度が最も高い領域における前記信号光のビーム断面積が、焦点近傍の光子密度が最も高い領域における前記制御光のビーム断面積を越えないようにすることができる。ビームエキスパンドの手段としては、公知のもの、例えば2枚の凸レンズからなるケプラー型の光学系を用いることができる。

〔共焦点距離 Z_c の計算〕

先に述べたように、ガウスビームの場合、凸レンズなどの収束手段で収束された光束のビームウエスト近傍、すなわち、焦点を挟んで共焦点距離 Z_c の区間においては、収束ビームはほぼ平行光と見なすことができ、共焦点距離 Z_c は、円周率 π 、ビームウエスト半径 ω_0 および波長 λ を用いた式(1)で表すことができる。

$$Z_c = \pi \omega_0^2 / \lambda \quad \dots (1)$$

式(1)の ω_0 に式(3)を代入すると、式(4)が得られる。

$$Z_c = \pi (k/NA)^2 \lambda / 4 \quad \dots (4)$$

なお、開口数 NA は有効開口半径 a および焦点距離 r から式(5)で求められる：

$$NA = a / r \quad \dots (5)$$

例えば、集光レンズとして焦点距離6.2mm、開口数0.65、有効開口半径約4mmのレンズを用い、波長694nmの信号光を収束したとき、集光レンズに入射するビーム半径 ω が4mmであれば a/ω は約1で、ビームウエストの半径 ω_0 は0.49 μ m、共焦点距離 Z_c は1.09 μ m、 ω が1mmであれば

a/ω は約4で ω_0 は $1.6\mu\text{m}$ 、共焦点距離 Z_c は $11.6\mu\text{m}$ と計算される。同様にして波長 633nm の制御光を収束したとき、ビーム半径 ω が 4mm であれば a/ω は約1で、ビームウエストの半径 ω_0 は $0.45\mu\text{m}$ 、共焦点距離 Z_c は $0.996\mu\text{m}$ 、 ω が 1mm であれば a/ω は約4で ω_0 は $1.5\mu\text{m}$ 、共焦点距離 Z_c は $10.6\mu\text{m}$ と計算される。

[光吸収層膜の最適膜厚]

光吸収膜の光学濃度が一定になるように膜厚と膜中の色素濃度の積が一定になるように色素濃度と膜厚を調整して試料を作製し、種々実験の結果、上記のようにして計算される共焦点距離の2倍を光吸収層膜の膜厚の上限としたとき、本発明の光制御方法の光応答速度が充分高速になることが判った。

光吸収層膜の膜厚の下限については、光応答が検知できる限りにおいて、薄ければ薄いほど好ましい。

[保温層膜の膜厚]

保温層膜の膜厚には、光応答の大きさおよび／または速度を最大にするような最適値（下限値および上限値）が存在する。その値は光学素子の構成、光吸収層膜の材質および厚さ、保温層の材質、伝熱層膜の材質および厚さなどに応じて、実験的に決定することができる。

[伝熱層膜の膜厚]

伝熱層膜の膜厚にも、光応答の大きさおよび／または速度を最大にするような最適値（この場合は下限値）が存在する。その値は光学素子の構成、光吸収層膜の材質および厚さ、保温層の材質および厚さ、伝熱層膜の材質などに応じて、実験的に決定することができる。

[光反射膜に設ける孔の役割、形および大きさ]

本発明の光学素子において、収束されて照射される前記制御光および前記信号光が通過できる大きさの孔を設けた光反射膜を、前記保温層膜および／または伝熱層膜が存在する場合、前記光吸収層膜の制御光入射側に、前記保温層膜および／または伝熱層膜を介して設けることによって、収束されて照射される前記制御光および前記信号光の光軸の調整を容易に行えるようにすることができる。すなわち、前記の孔を通過する信号光および制御光の光量が、各々最大になるよう、

信号光および制御光の光軸を各々調節する、という簡便な操作によって、結果的に、信号光および制御光の光軸の位置関係を最適化することができる。

孔の形および大きさは、上記役割を果たす限りにおいて、信号光および制御光の光束をできる限り有効に通過させる形および大きさであることが好ましい。信号光および制御光がガウスビームであれば、その光束断面は円形であるので、孔の形も円形であることが好ましい。円形孔の半径は、孔を通過する信号光および制御光のビーム半径と同等であることが好ましい。ここで、注意しなければならないこととして、孔の半径が小さくなりすぎると、光の干渉が顕著になる。具体的な目安として、孔の直径が信号光および制御光の波長の百倍よりも小さくならないようにすることが好ましい。通常、直径がミリメートルオーダーの信号光および制御光が「収束」されてから孔を通過することから、孔を設けた光反射膜の設置位置を調整することによって、孔の大きさを、前記の値よりも大きくすることが可能になる。

〔凸レンズの作成方法〕

本発明の光学素子実施形態の一つは、前記制御光の収束手段としての凸レンズが、光透過層膜を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていることを特徴とするが、この凸レンズの作成方法としては、本発明の光学素子の製造方法を用いることが好ましい。しかしながら、公知の、任意の方法を使用することもできる。

例えば、無機イオンの拡散現象を利用し、屈折率分布型凸レンズを無機ガラス系材質で作成することができる [M. Oikawa, K. Iga: Appl. Opt., 21 (6), 1052-1056 (1982)]。すなわち、ガラス基板にマスクを付けてからフォトリソグラフィの手法により直径百 μm 前後の円形窓を設け、熔融塩に浸けてイオン交換により屈折率分布を形成させるに当たり、数時間に渡って電界を印加してイオン交換を促進させることによって、例えば、直径 0.9 mm、焦点距離 2 mm、開口数 $NA = 0.23$ のレンズを形成させることができる。

なお、上記のような方法で、基板中に凸レンズを作成する際に用いられる「マスク」を、本発明の光学素子における「収束されて照射された前記制御光および前記信号光が通過できる大きさの孔を設けた光反射膜」と兼用して用いることが

できる。

〔マイクロレンズ形成材料〕

本発明の光学素子の製造方法を実施する際に用いられるマイクロレンズ形成材料としては、プラスチックマイクロレンズ用として公知の、熱可塑性高分子化合物を用いることができる。

〔原版形成材料〕

本発明の光学素子の製造方法で用いられる原版形成材料としては、フォトリソグラフィの手法に適した公知の金属材料を用いることができる。例えば、チタン、クロム、および、これらの合金を好適に用いることができる。

〔光機能〕

本発明の光学素子の実施形態の一つは、基板上に凸レンズを形成し、前記凸レンズの焦点位置に光機能発現部位を配置するものとし、前記光機能発現部位へ入射する光を前記凸レンズによって各々収束させ光束密度を増大させて前記光機能発現部位へ照射することを特徴とするが、「光機能」としては公知の任意のものを単独または組み合わせて利用することができる。例えば、蛍光、燐光、熱刺激発光（蓄光）などの発光現象、フォトクロミズムや光刺激サーモクロミズムなどの吸収スペクトル変化、光異性化などの（可逆的）光化学反応、液晶の光誘起配向変化、相変化、光導電現象、光起電力、熱レンズ効果、吸収飽和、フォトリフレクティブ現象、光カー効果などの現象を利用することができる。

これらの現象を、例えば、光センサとして応用することができる。その場合、凸レンズの一つ一つに対応させてセンサ出力を取り出すことができるが、個々の凸レンズにおいて入射光を収束させて光機能発現部位に照射させるため、信号／ノイズ比特性の良好な、高感度のセンシングが可能になる。

以下、図面に基づき本発明の実施形態について更に詳細に説明する。

〔実施形態１〕

図１には本実施形態の光制御装置の概略構成が示されている。

図１に概要を例示する本発明の光制御装置は、制御光の光源１、信号光の光源２、NDフィルター３、シャッター４、半透過鏡５、光混合器６、集光レンズ７、

本発明の光学素子 8、受光レンズ 9、波長選択透過フィルター 20、絞り 19、光検出器 11 および 22、およびオシロスコープ 100 から構成される。これらの光学素子ないし光学部品のうち、制御光の光源 1、信号光の光源 2、光混合器 6、集光レンズ 7、光学素子 8、受光レンズ 9、および、波長選択透過フィルター 20 は、図 1 の装置構成で本発明の光制御方法を実施するために必須の装置構成要素である。なお、ND フィルター 3、シャッター 4、および半透過鏡 5 は必要に応じて設けるものであり、また、光検出器 11 および 22、およびオシロスコープ 100 は、本発明の光制御方法を実施するためには必要ないが光制御の動作を確認するための電子装置として、必要に応じて用いられる。

次に、個々の構成要素の特徴ならびに動作について説明する。

Line 11, laser as LS.1
制御光の光源 1 にはレーザー装置が好適に用いられる。その発振波長および出力は、本発明の光制御方法が対象とする信号光の波長および使用する光吸収層膜の光吸収特性に応じて適宜選択される。レーザー発振の方式については特に制限はなく、発振波長帯域、出力、および経済性などに応じて任意の形式のものをを用いることができる。また、レーザー光源の光を非線形光学素子によって波長変換してから使用しても良い。具体的には例えば、アルゴンイオンレーザー（発振波長 457.9 nm ないし 514.5 nm）、ヘリウム・ネオンレーザー（633 nm）などの気体レーザー、ルビーレーザーや Nd:YAG レーザーなどの固体レーザー、色素レーザー、半導体レーザーなどを好適に使用することができる。信号光の光源 2 にはレーザー光源からのコヒーレント光だけではなく非コヒーレント光を使用することもできる。また、レーザー装置、発光ダイオード、ネオン放電管など、単色光を与える光源の他、タングステン電球、メタルハライドランプ、キセノン放電管などからの連続スペクトル光を光フィルターやモノクロメーターで単色化して用いても良い。

Line 25, laser as LS.2
以下、信号光の光源 2 として半導体レーザー（発振波長 694 nm、連続発振出力 3 mW）の出射光をビーム整形して直径約 8 mm の平行ガウスビームとして用い、一方、制御光の光源 1 としてヘリウム・ネオンレーザー（発振波長 633 nm、ビーム直径約 2 mm の平行ビーム、ビーム断面のエネルギー分布はガウス分布）を用いた場合について実施形態を説明する。

N Dフィルター3は必ずしも必要ではないが、装置を構成する光学部品や光学素子へ必要以上に高いパワーのレーザー光が入射することを避けるため、また、本発明の光学素子の光応答性能を試験するに当たり、制御光の光強度を増減するために有用である。本実施形態では後者の目的で数種類のN Dフィルターを交換して使用した。

line 6
Modulation
シャッター4は、制御光として連続発振レーザーを用いた場合に、これをパルス状に明滅させるために用いられるものであり、本発明の光制御方法を実施する上で必須の装置構成要素ではない。すなわち、制御光の光源1がパルス発振するレーザーであり、そのパルス幅および発振間隔を制御できる形式の光源である場合や、適当な手段で予めパルス変調されたレーザー光を光源1として用いる場合は、シャッター4を設けなくても良い。

Shutter 4 is optical chopper
シャッター4を使用する場合、その形式としては任意のものを使用することができ、例えば、オプティカルチョッパ、メカニカルシャッター、液晶シャッター、光カー効果シャッター、ポッケルセル、光音響素子などを、シャッター自体の作動速度を勘案して適宜選択して使用することができる。

半透過鏡5は、本実施形態において、本発明の光制御方法の作用を試験するに当たり、制御光の光強度を常時見積もるために用いるものであり、光分割比は任意に設定可能である。

光検出器11および22は、本発明の光・光制御による光強度の変化の様子を電氣的に検出して検証するため、また、本発明の光学素子の機能を試験するために用いられる。光検出器11および22の形式は任意であり、検出器自体の応答速度を勘案して適宜選択して使用することができ、例えば、光電子増倍管やフォトダイオード、フォトトランジスターなどを使用することができる。

前記光検出器11および22の受光信号はオシロスコープ100などの他、A/D変換器とコンピューターの組み合わせ（図示せず）によってモニターすることができる。

光混合器6は、前記光学素子中を伝播していく制御光および信号光の光路を調節するために用いるものであり、本発明の光制御方法および光制御装置を実施するに当たり重要な装置構成要素の一つである。偏光ビームスプリッター、非偏光

ビームスプリッター、またはダイクロイックミラーのいずれも使用することができ、光分割比についても任意に設定可能である。

集光レンズ7は、信号光および制御光に共通の収束手段として、光路が同一になるように調節された信号光および制御光を収束させて前記光学素子へ照射するためのものであり、本発明の光制御方法および光制御装置の実施に必須な装置構成要素の一つである。集光レンズの焦点距離、開口数、F値、レンズ構成、レンズ表面コートなどの仕様については任意のものを適宜使用することができる。

本実施形態では、以下、集光レンズ7として、焦点距離6.2mm、開口数0.65、有効開口半径4.03mmの顕微鏡用対物レンズを用いた場合について述べる。

この場合の集光レンズの焦点近傍の光子密度が最も高い領域、すなわちビームウエストにおける光ビームの半径 ω 。および共焦点距離 Z_c は、先に示した式(2)および式(4)を用いた計算例の通り、波長633nm、ビーム直径2mmの制御光について ω 。は1.5 μ m、 Z_c は10.6 μ mと計算される。

同様に波長694nm、ビーム直径8mmの信号光についてビームウエストにおける光ビームの半径 ω 。は0.49 μ mと計算される。すなわち、本実施形態において、ビームウエストにおける制御光ビームと信号光ビームの大小関係は、ビーム径として約3:1、ビーム断面積として約10:1の割合で、制御光の方が大きい。

光学素子中での制御光S1と信号光S2との関係を模式的に図4に示す。

このようにビームウエストにおける制御光のビームサイズを信号光に比べて大きくすると、集光レンズの焦点近傍における制御光収束ビームのエネルギー密度が最も高い領域に、信号光収束ビームのエネルギー密度が最も高い領域を重ね合わせるように光学系を調整することが容易になり、かつ、光学系諸要素の変動の影響を受け難くなる。すなわち、焦点近傍において、制御光および信号光の光軸中心を完全に一致させる必要はなく、制御光および信号光のビーム位置が、ある程度変動ないしドリフトしても、信号光収束ビームのエネルギー密度が最も高い領域が制御光収束ビームのエネルギー密度が最も高い領域から逸脱しないように調整することが可能となる。

受光レンズ9は、収束されて光学素子8へ照射され、透過してきた信号光および制御光を平行および／または収束ビームに戻すための手段であるが、充分な大きさの信号光を再現性良く得るためには、前記集光レンズ7の開口数より小さい開口数のレンズを用いる。この実施形態では受光レンズ9として、開口数0.4の顕微鏡レンズを用いた。すなわち、集光レンズ7の開口数より受光レンズ9の開口数を小さくすることにより、信号光の光束のうち、強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の光束を分別して取り出すことが可能となり、充分な大きさの信号光を再現性良く検出できるようになる。なお、レンズ開口数が大きくても、絞り19を入れたり光検出器に光束の中心部分のみ入射させて実質的に開口数を小さくすることもできるが、開口数の小さい受光レンズを用いる方が経済的である。また、集光レンズおよび受光レンズの代わりに凹面鏡を用いることも可能である。

line 13
20 can be
diffraction
grating
波長選択透過フィルター20は、図1の装置構成で本発明の光制御方法を実施するために必須の装置構成要素の一つであり、前記光学素子中の同一の光路を伝播してきた信号光と制御光とから信号光のみを取り出すための手段の一つとして用いられる。

波長の異なる信号光と制御光とを分離するための手段としては他に、プリズム、回折格子、ダイクロイックミラーなどを使用することができる。

図1の装置構成で用いられる波長選択透過フィルター20としては、制御光の波長帯域の光を完全に遮断し、一方、信号光の波長帯域の光を効率良く透過することのできるような波長選択透過フィルターであれば、公知の任意のものを使用することができる。例えば、色素で着色したプラスチックやガラス、表面に誘電体多層蒸着膜を設けたガラスなどを用いることができる。

本発明の光学素子の一形態として、伝熱層膜／光吸収層膜／伝熱層膜タイプの光学素子8は、例えば以下の手順で作成することができる。すなわち、シアニン色素の3, 3'-ジエチルオキサジカルボシアニンヨージド（慣用名DODCI、エキシトン社製）：57.4mgおよびポリメタクリル酸2-ヒドロキシプロピル：1942.6mgをアセトン：200mlに溶解し、n-ヘキサン：600ml中へかき混ぜながら加えて析出した沈殿（色素およびポリマーの混合物）を

濾別し、*n*-ヘキサンで洗浄してから減圧下乾燥し、粉碎した。得られた色素およびポリマーの混合粉末を 10^{-5} Pa未満の超高真空下、 100°C で2日間加熱を続け、残留溶媒等の揮発成分を完全に除去して、色素/ポリマー混合物の粉末を得た。この粉末20mgを伝熱層膜として用いるスライドガラス(25mm×76mm×厚さ1.150mm)および同カバーガラス(18mm×18mm×厚さ0.150mm)の間に挟み、真空下 160°C に加熱し、2枚のガラス板を圧着する方法(真空ホットプレス法)を用いてスライドガラス/カバーガラス間に色素/ポリマーの膜として、膜厚 $20\mu\text{m}$ の光吸収層膜を作成した。この光吸収層膜へ収束させて照射する制御光(波長633nm、ビーム直径2mm)の共焦点処理は前述のように $10.6\mu\text{m}$ と計算される。すなわち、前記光吸収層膜の厚さは制御光の共焦点距離の2倍を越えていない。

なお、色素/ポリマー膜中の色素濃度は、色素/ポリマー混合物の密度を1.06として計算すると、 $6.26 \times 10^{-2} \text{mol/l}$ である。

以上のようにして作成した光学素子の透過率スペクトルを図2に示す。この膜の透過率は制御光の波長(633nm)で38.3%、信号光の波長(694nm)で90.3%であった。

以上のような構成要素からなる図1の光学装置において、光源1から出射された制御光の光ビームは、透過率を加減することによって透過光強度を調節するためのNDフィルター3を通過し、次いで制御光をパルス状に明滅するためのシャッター4を通過して、半透過鏡5によって分割される。

半透過鏡5によって分割された制御光の一部は光検出器11によって受光される。ここで、光源2を消灯、光源1を点灯し、シャッター4を開放した状態において光学素子8への光ビーム照射位置における光強度と光検出器11の信号強度との関係を予め測定して検量線を作成しておけば、光検出器11の信号強度から、光学素子8に入射する制御光の光強度を常時見積もることが可能になる。この実施形態では、NDフィルター3によって、光学素子8へ入射する制御光のパワーを0.5mWないし25mWの範囲で調節した。

半透過鏡5で分割・反射された制御光は、光混合器6および集光レンズ7を通過して、光学素子8に収束されて照射される。光学素子8を通過した制御光の光ビ

ームは、受光レンズ9を通過した後、波長選択透過フィルター20によって遮断される。

光源2から出射された信号光の光ビームは、前記光混合器6によって、制御光と同一光路を伝播するよう混合され、集光レンズ7を経由して、光学素子8に収束・照射され、素子を通過した光は受光レンズ9および波長選択透過フィルター20を透過した後、光検出器22にて受光される。

図1の光学装置を用いて光制御の実験を行い、図5または図6に示すような光強度変化を観測した。図5および図6において、111は光検出器11の受光信号、222および223は光検出器22の受光信号である。光検出器22の受光信号222の得られる場合と223の得られる場合の違いは、以下の通りである。

図1の装置配置においては光学素子8に制御光と信号光とを収束して入射させているが、最小収束ビーム径位置、すなわちビームウエスト（焦点）を光学素子8の集光レンズ7に近いところ（光の入射側）に設定すると、前記光学素子を透過した前記信号光が減少する方向の光応答222が観察される。一方、ビームウエストを光学素子8の受光レンズ9に近いところ（光の出射側）に設定すると、前記光学素子を透過した前記信号光の見かけの強度が増大する方向の光応答223が観察される。

このような光応答が生じる機構は、次のように想定される。

1 line 20
The same / 1005

光吸収層膜を設けた光学素子に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれた波長の制御光を、集光レンズ7によって収束させて照射すると、制御光は前記光吸収層膜によって吸収され、吸収された光エネルギーの一部分は熱エネルギーに変化し、まず前記光吸収層膜中の制御光照射部分の温度が上昇し、次いで熱伝導によって、前記制御光を吸収した領域の周辺領域の温度も上昇する。制御光としてガウスビームを用いたときの温度上昇の分布は、ビーム中心部分が大きく、周辺にいくに従って小さくなるガウス分布に類似すると推測される。このような温度上昇およびその分布に起因して、前記光吸収層膜中の制御光照射部分に熱膨張が起こり、その結果、分布を持った密度変化および屈折率変化が起こる。このようにして生じた屈折率分布に基づく光学的作用を「熱レンズ」と呼ぶことがで

きる。熱レンズ形成のきっかけとなった制御光の照射を止めると、光吸収による温度上昇は止まり、密度変化および屈折率分布は解消し、熱レンズは消滅する。すなわち、制御光の断続に対応して、熱レンズは可逆的に形成され、消滅する。ここで、収束されていない平行な制御光（ガウスビーム）が、比較的薄い光吸収層を透過する場合に、光吸収によって形成される熱レンズを考えると、ビーム中心に近いほど温度上昇が大きく、熱膨張が大きく、密度低下が大きくなり、結果的に、中心部分に近い程、屈折率が小さくなるような分布が形成され、その光学的作用は凹レンズに相当すると推定される。しかるに、収束された制御光が、比較的厚い光吸収層を透過していく場合に形成される熱レンズの光学的作用は、光吸収の影響によって、ビーム断面のエネルギー分布がガウス分布から乖離していくと推測され、単純な凹レンズが形成されるとは限らない。

そこで、次に述べるようにして、光学素子を透過した信号光ビーム断面の光強度分布およびその変化についての測定を行った。なお、以下の測定で収束ビームのビームウエスト（焦点 F_c ）の位置を光学素子8内で移動するには、集光レンズ7および受光レンズ9の間隔（ $d_{79} + d_{89}$ ）を固定したまま、光学素子8を移動させていった。すなわち、集光レンズ7および受光レンズ9の間隔を固定したまま、光学素子8と集光レンズ7の距離を変化させ、同一の光路で収束された制御光および信号光の焦点位置と光学素子8との位置関係を変化させた。

図1の装置において、受光レンズ9を集光レンズ7の開口数（本実施形態の場合は0.65）よりも大きな開口数（例えば0.75）のものに変更し、光検出器22の代わりに図7に示すようなスリットを設けた光強度分布測定器を設置し、光学素子8を透過した光線束の全てを受光レンズ9で受光・収束させて前記光強度分布測定器の受光部31（有効直径4mm）へ入射させ、信号光光線束断面の光強度分布を測定した。測定結果を図8ないし10に示す。ここで、光強度分布測定器は、図7に示すように、受光部31（有効直径4mm）に対して幅1mmの第一のスリット32を設け、第一のスリットの長さ方向、すなわち図7において点Xから点Yの向きに、幅25 μ mの第二のスリット33を一定速度で移動させて、2枚のスリットが作る1mm \times 25 μ mの長方形の窓を通過した光の強度を、前記窓の移動位置に対応させて測定する装置である。前記窓の移動位置に対

応させて光強度を測定するには、例えば、第二のスリット 33 の移動速度に同期させたストレージオシロスコープ上に、前記窓を通過した光を受光した検出器の出力を記録すれば良い。図 8 ないし 10 は、以上のようにして、ストレージオシロスコープ上に記録された信号光の光ビーム断面についての光強度分布を示すものであり、横軸（光ビーム断面内の位置）は図 7 の点 X から点 Y の方向の位置に対応し、縦軸は光強度を表す。

図 8 は、光学素子 8 に制御光を入射せず、信号光のみが入射された場合の前記信号光の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の強度が強く、周辺にいくに従い強度が弱まる分布（ガウス分布）である。

図 9 は、制御光および信号光のビームウエスト位置（焦点 F_c ）を光学素子 8 の集光レンズ 7 に近いところ（光の入射側）に設定し、制御光を照射したとき見かけの信号光強度が減少する向きの光応答 222 が観察される条件において、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の光強度が弱く、周辺で光強度が増大する分布になっている。信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および光学素子 8 と焦点の位置関係に依存して減少し、制御光強度が増すに従い、ゼロに近づいていく。これは制御光の照射により照射された中心部分ほど屈折率が小さくなり、その部分の光がビームの外周方向に曲げられるためと考えられる。従って、この場合、信号光ビームの中心部分だけを取り出して、見かけの信号光強度を測定すると、制御光の断続に対応して、信号光の強度が減少する向きの光応答 222 を、十分な大きさと取り出すことができる。

図 10 は、制御光および信号光のビームウエスト位置（焦点 F_c ）を光学素子 8 の受光レンズ 9 に近いところ（光の出射側）に設定し、制御光を照射したとき見かけの信号光強度が増大する向きの光応答 223 が観察される条件において、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合は、中心部分の光強度が、制御光を照射しない場合の中心部分の光強度（図 8）より強くなっている。ここで、信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および光学素子 8 を焦点位置の関係に依存するが、制御光非照射時の数倍にも達する。これは、この配置においては、収束されて照射された制御光によって形成される

熱レンズの光学作用は、同じく収束されて照射される信号光の収束点を、結果的に光学素子8の外側に伸ばした状態にする（条件にもよるが、ほぼ無限遠に伸ばされた状態にもなる）ためと考えられる。従って、この場合、信号光ビームの中心部分だけを取り出して、見かけの信号光強度を測定すると、制御光の断続に対応して、信号光の強度が増大する向きの光応答223を十分な大きさで取り出すことができる。

なお、受光レンズ9の開口数を集光レンズ7の開口数よりも大きくし、光学素子を透過した信号光を全て受光した場合には、上記のような光強度分布を持った信号光を光検出器22に入射させても、光応答は小さいかほとんどない。すなわち、制御光および信号光を光学素子8の集光レンズ側に収束して入射させた場合でも、受光レンズ側に収束して入射させた場合でも、光応答は小さいかほとんどない。これは、この実施形態においては、光学素子中の色素の励起状態からの吸収は、事実上起きていないことを示唆している。

一方、本実施形態の図1のように受光レンズ9の開口数を集光レンズ7の開口数よりも小さくすると、光検出器22に入射する信号光は外周部分が除外され、制御光および信号光を光学素子8の集光レンズ側（入射側）に収束して入射させた場合には光検出器22に入射する信号光は小さくなり、受光レンズ側（出射側）に収束して入射させた場合には光検出器22に入射する信号光は大きくなり、大きな光応答が得られることになる。

図1の光学装置を用いて光制御の実験を行い、図5または図6に示すような光強度変化を観測したが、その詳細は以下に述べる通りである。

まず、制御光の光ビームと信号光の光ビームとが、光学素子8内部の同一領域で焦点 F_c を結ぶように、それぞれの光源からの光路、光混合器6、および集光レンズ7を調節した。なお、前記光学素子8のカバーガラス側から信号光および制御光が入射し、スライドガラス基板側から出射するような向きに光学素子を配置した。次いで、波長選択フィルター20の機能を点検した。すなわち、光源2を消灯した状態で、光源1を点灯し、シャッター4を開閉した場合には光検出器22に応答が全く生じないことを確認した。

まず、前記焦点 F_c を光学素子8の集光レンズ側（入射側）に設置した場合に

ついて図5を用いて述べる。

シャッター4を閉じた状態で制御光の光源1を点灯し、次いで、時刻 t_1 において光源2を点灯し光学素子8へ信号光を照射すると、光検出器22の信号強度はレベルCからレベルAへ増加した。

時刻 t_2 においてシャッター4を開放し、光学素子8内部の信号光が伝播しているのと同じ光路へ制御光を収束・照射すると光検出器22の信号強度はレベルAからレベルBへ減少した。この変化の応答時間は2マイクロ秒未満であった。

時刻 t_3 においてシャッター4を閉じ、光学素子への制御光照射を止めると光検出器22の信号強度はレベルBからレベルAへ復帰した。この変化の応答時間は3マイクロ秒未満であった。

時刻 t_4 においてシャッター4を開放し、次いで、時刻 t_5 において閉じると、光検出器22の信号強度はレベルAからレベルBへ減少し、次いでレベルAへ復帰した。

時刻 t_6 において光源2を消灯すると光検出器22の出力は低下し、レベルCへ戻った。

次いで、前記焦点 F_c を光学素子8の受光レンズ側（光の出射側）に設置した場合について図6を用いて述べる。

シャッター4を閉じた状態で制御光の光源1を点灯し、次いで、時刻 t_1 において光源2を点灯し光学素子8へ信号光を照射すると、光検出器22の信号強度はレベルCからレベルAへ増加した。

時刻 t_2 においてシャッター4を開放し、光学素子8内部の信号光が伝播しているのと同じ光路へ制御光を収束・照射すると光検出器22の信号強度はレベルAからレベルDへ増加した。この変化の応答時間は2マイクロ秒未満であった。

時刻 t_3 においてシャッター4を閉じ、光学素子への制御光照射を止めると光検出器22の信号強度はレベルDからレベルAへ復帰した。この変化の応答時間は3マイクロ秒未満であった。

時刻 t_4 においてシャッター4を開放し、次いで、時刻 t_5 において閉じると、光検出器22の信号強度はレベルAからレベルDへ増加し、次いでレベルAへ復帰した。

時刻 t_6 において光源 2 を消灯すると光検出器 22 の出力は低下し、レベル C へ戻った。

以上まとめると、光学素子 8 へ、制御光を図 5 の 111 に示すような波形で表される光強度の時間変化を与えて照射したところ、信号光の光強度をモニターして示す光検出器 22 の出力波形は図 5 または図 6 の 222 または 223 に示すように、制御光の光強度の時間変化に対応して可逆的に変化した。すなわち、制御光の光強度の増減または断続により信号光の透過を制御すること、すなわち光で光を制御すること（光・光制御）、または、光で光を変調すること（光・光変調）ができることが確認された。

なお、制御光の断続に対応する信号光光強度の変化の程度は、前記の光検出器 22 の出力レベル A、B および C を用いて次に定義される値 ΔT [単位%] または、A、C および D を用いて次に定義される値 $\Delta T'$ [単位%]

$$\Delta T = 100 [(A - B) / (A - C)]$$

$$\Delta T' = 100 [(D - A) / (A - C)]$$

によって定量的に比較することができる。ここで、A は制御光を遮断した状態で信号光の光源 2 を点灯した場合の光検出器 22 の出力レベル、B および D は信号光と制御光を同時に照射した場合の光検出器 22 の出力レベル、C は信号光の光源 2 を消灯した状態の光検出器 22 の出力レベルである。

上の例において、制御光の入射パワーを 20 mW とし、光学素子 8 の位置を前述のように移動して信号光の光応答の向きと大きさを調べたところ、信号光強度が減少する向きの応答の大きさ ΔT の最大値は 80 %、見かけの信号光強度が増加する向きの応答の大きさ $\Delta T'$ の最大値は 40 % であった。

〔実施形態 2〕

次に、光吸収層膜の光学濃度を一定にして、光吸収層膜中の色素濃度および膜厚を変える実験を行った。

まず、実施形態 1 で用いた光吸収層膜における色素濃度を 2 倍にし、一方、光吸収層膜の膜厚を実施形態 1 の場合の半分の 10 μm としたところ、光応答の大

きさ ΔT および $\Delta T'$ の大きさは実施形態1の場合とほぼ同一、光応答速度もほぼ同一であった。

〔比較例1〕

実施形態1の光学素子における光吸収層膜の色素濃度を半分にし、一方、光吸収層膜の膜厚を2倍の $40\mu\text{m}$ にして光学素子を作成し、光応答の実験を行ったところ、光応答の大きさ ΔT の最大値は68%、 $\Delta T'$ の最大値は25%となった。実施形態1の場合に比べて、明らかに光応答の大きさが減少した。これは、光吸収層膜の厚さが制御光の共焦点距離の2倍を越えるほど厚くなり、その中に色素が、実施形態1の場合に比べて希釈された形で存在するため、制御光の光吸収に起因する熱レンズ形成が実施形態1の場合よりも阻害されたためであると推測される。

〔比較例2〕

実施形態1の光学素子における光吸収層膜の色素濃度を変えずに、光吸収層膜の膜厚のみを2倍の $40\mu\text{m}$ に変更して光学素子を作成し、光応答の実験を行ったところ、光応答の大きさ ΔT および $\Delta T'$ の最大値は実施形態1の場合と遜色ないものの、信号光透過率の絶対値が著しく減少してしまい、高速応答の際の信号／ノイズ比が悪化した。

〔実施形態3〕

特許公報第2599569号に記載の複合型光学薄膜の製造方法を利用して、伝熱層膜として用いるスライドガラス（ $25\text{mm} \times 76\text{mm} \times$ 厚さ 1.150mm ）の上に、(i) ポリメタクリル酸2-ヒドロキシプロピルを単独で用いた保温層膜、(ii) 色素としてDODCI、マトリックス樹脂としてポリメタクリル酸2-ヒドロキシプロピルを用い、色素／ポリマー膜中の色素濃度 $1.25 \times 10^{-1}\text{mol/l}$ になるように調整した光吸収層膜、(iii) ポリメタクリル酸2-ヒドロキシプロピルを単独で用いた保温層膜（膜厚 $10\mu\text{m}$ ）を積層・堆積させ、更に、伝熱層膜としてのカバーガラス（ $18\text{mm} \times 18\text{mm} \times$ 厚さ 0.150mm ）を重ねて真空下、加熱・加圧処理（真空ホットプレス処理）し、本発明の光学素子実施形態の一つとして「伝熱層膜／保温層膜／光吸収層膜／保温層膜／伝熱層膜」タイプの光学素子を作成した。なお、2枚の伝熱層膜（ガラス板）の厚

さは各々、上記の通りであり、2層の保温層膜の厚さは、真空ホットプレス処理後において、ともに $10\mu\text{m}$ 、また、光吸収層膜の厚さは、同じく真空ホットプレス処理後において $10\mu\text{m}$ になるよう成膜条件を調整した。

以上のようにして作成した実施形態3の光学素子の吸収スペクトルは実施形態1の光学素子の場合（図2参照）と、同等であった。

この光学素子を用いて、実施形態1の場合と同様に、制御光の入射パワー 20mW において、信号光の光応答の向きと大きさを調べたところ、信号光強度が減少する向きの応答の大きさ ΔT の最大値は 88% 、見かけの信号光強度が増加する向きの応答の大きさ $\Delta T'$ の最大値は 46% であった。すなわち、実施形態1および実施形態2の場合よりも、光応答が大きくなった。これは光吸収層膜を挟むように設けた保温層膜によって、熱レンズの形成が円滑に行われるようになったためであると推測される。

一方、実施形態2の場合、光吸収層膜中の色素濃度および光吸収層膜の厚さは本実施形態3と同等であるが、光応答は小さい。これは、保温層膜が存在しないため、光吸収層膜において吸収された制御光のエネルギーが、急速に伝熱層膜に奪われてしまい熱レンズの形成が阻害されるものと推測される。

〔比較例3〕

実施形態1の光学素子における光吸収層膜の色素濃度を变えずに、光吸収層膜の膜厚のみを 0.01 倍の $0.2\mu\text{m}$ に変更して光学素子を作成し、光応答の実験を行ったところ、光応答は検出されなかった。これは、光吸収層膜中の色素量が少なく、制御光の吸収による発熱量が少ないことに加えて、制御光の吸収による発熱が急速に伝熱層膜に奪われてしまい熱レンズの形成が阻害されるためであると推測される。

〔実施形態4〕

文献 [M. Oikawa, K. Iga: Appl. Opt., 21 (6), 1052-1056 (1982)] 記載の方法に従い、無機イオンの拡散現象を利用し、屈折率分布型凸レンズを無機ガラス系材質で作成した。すなわち、ガラス基板にマスク兼反射膜として金の蒸着膜を設け、これにフォトリソグラフィの手法により直径 $400\mu\text{m}$ の円形窓を設けた。次いで、熔融塩に浸けてイオン交換により屈折率分布を形成させるに当たり、数時間

に渡って電界を印加してイオン交換を促進させることによって、直径0.9mm、焦点距離2mm、開口数 $NA=0.23$ の屈折率分布型凸レンズを形成させた。

このガラス基板の反射膜側に、ポリメタクリル酸メチルからなる厚さ2mmの光透過層兼保温層膜をキャスト法によって設けた。

この光透過層兼保温層膜の上に、特許公報第2599569号に記載の複合型光学薄膜の製造方法を利用して、(i)色素としてDODCI、マトリックス樹脂としてポリメタクリル酸2-ヒドロキシプロピルを用い、色素/ポリマー膜中の色素濃度 $1.25 \times 10^{-1} \text{mol/l}$ になるように調整した光吸収層膜、(ii)ポリメタクリル酸2-ヒドロキシプロピルを単独で用いた保温層膜(膜厚 $10 \mu\text{m}$)を積層・堆積させ、更に、伝熱層膜としてのカバーガラス($18 \text{mm} \times 18 \text{mm} \times$ 厚さ 0.150mm)を重ねて真空下、加熱・加圧処理(真空ホットプレス処理)し、本発明の光学素子実施形態の一つとして「凸レンズ/光透過層膜兼保温層膜/光吸収層膜/保温層膜/伝熱層膜」タイプの光学素子を作成した。なお、ポリメタクリル酸2-ヒドロキシプロピルからなる保温層膜の厚さおよび光吸収層膜の厚さは、真空ホットプレス処理後において、いずれも $10 \mu\text{m}$ になるよう成膜条件を調整した。

以上のようにして作成した本実施形態4の光学素子を、集光レンズ7を取り除き、受光レンズの開口数を0.1のものに代えた他は実施形態1の場合と同様な光制御装置へ取り付け、本実施形態4の光学素子の反射膜へ設けた孔へ向けて、実施形態1における集光レンズ7の代わりに、ガラス基板内に形成された屈折率分布型凸レンズを経由して、信号光および制御光を、光学素子の面に垂直に入射させた。ここで、信号光としては、発振波長 694nm 、連続発振出力 3mW の半導体レーザー出射光をビーム整形して直径約0.9mmの平行ガウスビームとして用い、一方、制御光としては、発振波長 633nm のヘリウム・ネオンレーザー出射光をビーム整形して直径約0.9mmの平行ガウスビームとして用いた。前述の式(2)および式(4)を用いて計算すると、信号光および制御光ともに a/ω は1で k は約0.92であって、信号光のビームウエスト半径 ω_0 は約 $1.4 \mu\text{m}$ 、共焦点距離 Z_0 は約 $8.7 \mu\text{m}$ 、制御光のビームウエスト半径 ω_0 は約 $1.3 \mu\text{m}$ 、共焦点距離 Z_0 は約 $8.0 \mu\text{m}$ と算出される。すなわち、上記のよ

うに、光吸収層膜の厚さは $10\mu\text{m}$ であり、制御光の共焦点距離の2倍（約 $16\mu\text{m}$ ）を越えていない。

信号光および制御光の光軸合わせは、以下のようにして、極めて簡便に行うことができた。まず、信号光のみを入射させ、反射膜に設けた孔を通過してくる信号光の大きさが最大になるよう、信号光の光軸（具体的には光源の取り付け位置）を調節した。次いで、制御光のみを入射させ、反射膜に設けた孔を通過してくる制御光の大きさが最大になるよう、制御光の光軸（具体的には光源の取り付け位置）を調節した。なお、この時、波長選択透過フィルター20を一時的に取り外し、光検出器22にて制御光の光強度を測定した。

以下、実施形態1の場合と同様にして本実施形態の光学素子の光応答を測定し、実施形態1の場合と同等の速度および大きさの光応答を観察した。

〔実施形態5〕

以下、例えば、厚さ 5mm 、 100mm 角のチタン板材210を加工してプレス原版201を作成し、これを用いて、マイクロレンズを設けた光学素子を製造する例について、図11から図15を用いて説明する。なお、図11および図12において（a）は孔が形成される原版および／あるいは光学素子の断面図であってそれぞれ（b）のA-A'線、B-B'線に沿った断面図、（b）は同平面図である。

まず、図11に示すように、チタン板材210の一面を研磨して鏡面とし、そこへ、スピコートターを用いた塗工法によって、厚さ約 $1\mu\text{m}$ のフォトリソ層202を形成し、更に、縮小投影露光法により直径 $25\mu\text{m}$ の円形孔230を 0.1mm ピッチで格子点状にパターン付けした。

次いで、図12に示すように、半導体製造工程等で公知の技術である四フッ化炭素（ CF_4 ）ガスを用いた高周波プラズマエッチング法により侵食加工を行った。反応時の圧力は $6.5 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 、高周波パワーは 40.0W とした。この時、原版金属であるチタンの深さ方向のエッチングの進行と共に、高周波プラズマ中で加速されたイオンや電子の衝突によりフォトリソの円形孔230の周囲もエッチングされる。エッチング開始時に $25\mu\text{m}$ であった直径が最終的に $45\mu\text{m}$ となるようエッチング時間を調節した。フォトリソの円形孔直径の増大に

伴いエッチングは深さ方向のみならずこれと直交する方向にも進行し、孔 203 の断面は円弧状となる。高周波プラズマエッチングの場合、一般的には等方性の化学的エッチングと異方性の物理的エッチングが混在しており、ガスの種類、圧力、および、高周波パワー等の条件を変えることにより等方性と異方性の比率を変化させることができる。例えば、エッチング条件（ガスの種類、圧力、高周波パワー）を調節して等方性エッチングを強調して行うことによって、得られた孔の断面円弧の曲率半径が $102\ \mu\text{m}$ という比較的大きい値になるよう制御することができた。これに対して、例えば、上述のエッチング条件に比べて圧力を低くし、高周波パワーを 450W と高くした場合には異方性エッチングの程度が強調され、得られた孔の断面円弧の曲率半径は $43\ \mu\text{m}$ と小さくなった。これと同様の制御はフォトレジストの選択によっても可能である。すなわち、熱処理後硬度が増すように高い温度で処理した場合、および、ガスに対して特にエッチングされ難いフォトレジストを用いた場合、得られた孔の断面円弧の曲率半径は小さくなる。このようにエッチングに関する条件を制御することによりプレス原版 201 の孔 203 断面の曲率半径を制御することが可能であり、任意の断面形状のプレス原版 201 を作成することができる。プレス原版 201 はエッチング工程の後、フォトレジスト除去（洗浄）工程に続いて化学研磨による鏡面仕上げを行い表面粗さを小さくした。

以上のようにして作成されたプレス原版 201（図 13（a））の上に、再沈殿法により精製され、高真空下加熱処理によって揮発成分が除去されたポリメタクリル酸メチルの粉末 204 を散布した後に、厚さ約 2mm のガラス基板 205 を乗せて（図 13（b））真空ホットプレス法（日本国特許第 1882011 号）により熱間加圧加工を行うことによりガラス基板 205 とプレス原版 201 の間に、集積されたポリメタクリル酸メチルのレンズアレイ 206 を製造した（図 14）。

図 15 に示すように、冷却後、プレス原版 201 を剥離してガラス基板 205 上に集積されたポリメタクリル酸メチル製レンズアレイ 206 を得た。

〔実施形態 6〕

図 17 に示すように、実施形態 1 に記載の方法において、レンズ原版 1 の製造

条件を制御することによって凹面 3 の形状を調節し、ガラス基板 186 (厚さ 1.510mm) 上に有効開口半径 250 μ m、焦点距離 1.00mm、開口数 NA 0.25 の凸レンズ 87 を、また、ガラス基板 182 (厚さ 1.500mm) 上に有効開口半径 130 μ m、焦点距離 1.00mm、開口数 NA 0.13 の凸レンズ 89 を、ポリメタクリル酸メチル (屈折率 1.49) を用いてそれぞれ作成した。凸レンズ 87 および 89 の保護のため、レンズ原版は、後述のように、光学素子製造工程の最後に取り外すものとする。なお、ガラス基板 182 および 186 は、ともに、光透過層膜兼伝熱層膜として作用する。

上記「焦点距離」は、ガラス基板 (屈折率 1.51) に平面側を密着させた平行凸レンズとして凸レンズ 87 および 89 を作用させ、ガラス基板側から平行光を照射し、空気 (屈折率 1) 中に焦点を結ばせた場合の値である。逆向きに、空気側から平行光を照射した場合は、光の波長および焦点に到達するまでに通過する媒体の屈折率を考慮して焦点位置を算出する必要がある。例えば、図 17 に示すように、凸レンズ 87 で収束され、屈折率 1.51、厚さ 1.510mm のガラス中、次いで、屈折率約 1.51 の光吸収層膜 80 中を進行し、その中で焦点を結ぶ場合の「焦点距離 r' 」は、約 1.51mm \pm (共焦点距離 Z_c) / 2 と計算される。一方、この焦点から発散する光を、前記光吸収層膜 80、次いで屈折率 1.51、厚さ 1.50mm のガラスを進行させた後、凸レンズ 89 で平行光に戻す場合の「焦点距離 r'' 」は、約 1.51mm \pm (共焦点距離 Z_c) / 2 と計算される。すなわち、図 17 のような構成の光学素子における光吸収層膜 80 の厚さを 100 μ m 未満になるよう製造すると、平行光として入射した信号光 S2 を、おおむね、平行光として取り出すことができる。

光吸収層膜 80 を作成するため、3, 3'-ジエチルオキサジカルボシアニンヨージド (慣用名 DODCI) : 23.0mg およびポリメタクリル酸メチル : 1977.0mg をアセトン : 200ml に溶解し、n-ヘキサン : 1300ml 中へかき混ぜながら加えて析出した沈殿 (色素およびポリマーの混合物) を濾別し、n-ヘキサンで洗浄してから減圧下乾燥し、粉碎した。得られた色素およびポリマーの混合粉末を 10⁻⁵Pa 未満の超高真空下、100℃で 2 日間加熱を続け、残留溶媒等の揮発成分を完全に除去して、色素/樹脂混合物の粉末を得た。

この粉末 35 mg をガラス基板 186 およびガラス基板 182 の間に挟み、真空下 150℃ に加熱し、2 枚のガラス板を圧着する方法（真空ホットプレス法）を用いてガラス基板間に色素／樹脂からなる光吸収層膜 80（膜厚 50 μm）を作成した。この時、凸レンズ 87 および 89 の光軸が一致するよう、ガラス基板 186 および 182 の位置関係を精密に調整した。具体的には、ガラス基板 186 および 182 に密着させた状態にあるレンズ原版に位置決めのための基準線を予め設けておき、これを基準として孔 203 の位置を決めて凸レンズ 87 および 89 に対応する 2 つのレンズ原版を作成し、更に、これらの 2 つの基準線に基づいて、2 つの凸レンズの光軸が一致するよう位置関係を調整した。

なお、光吸収層膜中の色素濃度は、色素／樹脂混合物の密度を 1.06 として計算すると、 $2.5 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ である。この膜の透過率は制御光 S1 の波長（633 nm）で 28.3%、信号光 S2 の波長（694 nm）で 90.2% であった。

以上の製造工程の最後に、真空ホットプレスを終えた光学素子を室温まで冷却し、大気中に取り出し、レンズ原版を取り外した。

以上の手順は、ガラス基板上に凸レンズを形成してから光吸収層膜 80 を作成するものであるが、逆の手順として、光吸収層膜 80 を作成してから、2 つの凸レンズの光軸が一致するよう注意しながら、ガラス基板 186 および 182 の表面に、凸レンズ 87 および 89 を形成しても良い。

また、光吸収層膜 80 の成膜と、2 つの凸レンズ 87 および 89 の形成を同時に行っても良い。

いずれの場合も、光吸収層膜 80 の厚さが上記の設計値になるよう、また、2 つの凸レンズの光軸が一致するよう製造条件を精密に制御することが重要である。

以上のようにして製造した光学素子の光応答を調べるため、図 18 に構成を示すような測定装置に本発明の光学素子を取り付けた。

図 18 に示す装置は、図 1 に示す装置における集光レンズ 7 および膜型光学素子 8 および受光レンズ 9 を、凸レンズ 87 および 89、ガラス基板 186 および 182、および、光吸収層膜 80 からなる光学素子に置き換えたものである。

制御光 S1 の光源 101 としてはヘリウム・ネオンレーザー（発振波長 633

nm、ビーム直径約 $120\mu\text{m}$ の平行ビーム、ビーム断面のエネルギー分布はガウス分布)を用いた。

一方、信号光S2の光源102としては半導体レーザー(発振波長 694nm 、連続発振出力 3mW)の出射光をビーム整形して直径約 0.5mm の平行ガウスビームとして用いた。

NDフィルター103としては実施形態1におけるNDフィルター3と同じものを同様にして用いた。

シャッター104は、制御光として用いた連続発振レーザーをパルス状に明滅させるために用いた。メカニカルシャッターと光音響素子を併用した。

半透過鏡105は、制御光S1の光強度を常時見積もるために用いた。

光検出器11および22としては、フォトランジスターを使用した。光検出器11および22の受光信号はオシロスコープ(図示せず)によってモニターした。

光混合器106としてダイクロイックミラーを使用し、制御光S1と信号光S2の光軸が一致するよう調節した。

照射側凸レンズ87の焦点近傍の光子密度が最も高い領域、すなわちビームウエストにおける光ビームの半径 ω_0 、および共焦点距離 Z_0 は、照射側凸レンズ87の有効開口半径 a は $250\mu\text{m}$ 、開口数NAは0.25であるから、波長 633nm 、ビーム直径 $120\mu\text{m}$ の制御光について、 k は約3、従って ω_0 は約 $4\mu\text{m}$ 、 Z_0 は $72\mu\text{m}$ と計算される。

同様にして波長 694nm 、ビーム直径 0.5mm の信号光について、 k は約0.92、ビームウエストにおける光ビームの半径 ω_0 は約 $2.5\mu\text{m}$ 、 Z_0 は $27\mu\text{m}$ と計算される。すなわち、本実施形態の光学素子において、ビームウエストにおける制御光ビームと信号光ビームの大小関係は、ビーム径として約8:5、ビーム断面積として約5:2の割合で、制御光の方が大きい。また、色素/樹脂からなる光吸収層膜80の膜厚は $50\mu\text{m}$ であって、制御光の共焦点距離 Z_0 ($72\mu\text{m}$)の2倍を越えていない。

受光側凸レンズ89は、照射側凸レンズ87より収束されて光吸収層膜80へ照射され、ガラス基板186から光吸収層膜80を経てガラス基板182を透過

してきた信号光および制御光を平行ビームに戻すための手段であるが、充分な大きさの信号光を再現性良く得るためには、照射側凸レンズ87の開口数より小さい開口数のレンズを用いることが好ましい。この実施形態では受光側凸レンズ89として、開口数0.13のものを用いた。すなわち、照射側凸レンズ87の開口数0.25より受光側凸レンズ89の開口数が小さくなるようにした。

波長選択透過フィルター120としては、実施形態1におけるフィルター20と同様なものを、同様にして使用した。

以上のような構成要素からなる図18の光学装置において、光源101から出射された制御光の光ビームは、透過率を加減することによって透過光強度を調節するためのNDフィルター103を通過し、次いで制御光をパルス状に明滅するためのシャッター104を通過して、半透過鏡105によって分割される。

実施形態1の場合と同様にして、NDフィルター103によって、光学素子へ入射する制御光のパワーを0.5mWないし25mWの範囲で調節した。

半透過鏡105で分割・反射された制御光は、光混合器106および照射側凸レンズ87を通過して、光学素子中の光吸収層膜80へ向けて収束されて照射される。光学素子を通過した制御光の光ビームは、受光側凸レンズ89を通過した後、波長選択透過フィルター120によって遮断される。

光源102から出射された信号光S2の光ビームは、前記光混合器106によって、制御光S1と同一光路を伝播するよう混合され、照射側凸レンズ87を経由して、光学素子に収束・照射され、素子を通過した光は受光側凸レンズ89および波長選択透過フィルター120を透過した後、光検出器22にて受光される。

図18の光学装置を用いて光制御の実験を行い、実施形態1の場合と同様にし、図5または図6に示すような光強度変化を観測した。図5および／または図6において、111は光検出器11の受光信号、222および223は光検出器22の受光信号である。光検出器22の受光信号222の得られる場合と223の得られる場合の違いは、以下の通りである。

図18の装置配置においては光学素子内の光吸収層膜80に制御光S1と信号光S2とを収束して入射させているが、最小収束ビーム径位置、すなわち焦点F_oが光吸収層膜80の照射側凸レンズ87に近いところ（光の入射側）になるよ

う微調整して製造された凸レンズ 87 を用いると、前記光学素子を透過した信号光 S2 が減少する方向の光応答 222 が観察される。

一方、焦点 Fc を光吸収層膜 80 の受光側凸レンズ 89 に近いところ（光の射出側）になるよう微調整して製造された凸レンズ 87 を用いると、前記光学素子を透過した信号光 S2 の見かけの強度が増大する方向の光応答 223 が観察される。

このような現象は、実施形態 1 の場合と同様に、光吸収層膜 80 内の領域 85 に形成される熱レンズ効果によって説明することができる。

産業上の利用可能性

以上、詳細に説明したように、本発明の光学素子、それを用いる光制御方法および光制御装置、によれば、例えば、可視領域にある低パワーのレーザー光を制御光として、近赤外線領域にある信号光を精度良く変調することが、極めて単純な光学装置によって、電子回路などを一切用いることなく、実用上十分な応答速度において実現可能になる。また、制御光と信号光の光軸調整を簡便に行うことができ、更に、極めてコンパクトな光制御装置を提供することができる。

また、本発明の光学素子の製造方法によれば、サイズ、形状および屈折率が制御された凸レンズをガラス基板上に集積させた構造を有した光学素子を製造することが可能になる。また、本発明の光学素子の製造方法によれば、凸レンズと光機能発現部位を、真空中一貫製造工程により一体形成することが可能になり、高パワーレーザー照射時の光損傷の原因となる揮発性物資の存在しない、高耐久性の光学素子を製造することができる。また、本発明の光学素子によれば、光機能発現部位への入射光の光束密度を、光学素子外部に収束光学系を付加することなしに、高めることが可能になり、極めてコンパクトで高性能の光学素子を提供することができる。

請求の範囲

1. 少なくとも光吸収層膜を含む光学素子中の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによつて、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光学素子において、前記光吸収層膜の厚さが、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を越えないことを特徴とする光学素子。

2. 請求項1に記載の光学素子において、
前記光吸収層膜の片側または両側に、前記制御光および前記信号光の波長帯域において光透過性の保温層膜が設けられていることを特徴とする光学素子。

3. 請求項1または請求項2に記載の光学素子において、
前記保温層膜が存在しない場合には、前記光吸収層膜の片側または両側に前記伝熱層膜が設けられ、

一方、前記保温層膜が存在する場合、前記光吸収層膜の片側または両側に、前記保温層膜を介して、伝熱層膜が設けられていることを特徴とする光学素子。

4. 請求項1ないし3のいずれかに記載の光学素子において、
前記光吸収層膜および／または前記保温層膜および／または前記伝熱層膜が自己形態保持性の材質からなることを特徴とする光学素子。

5. 請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の光学素子において、

収束されて照射された前記制御光および前記信号光が通過できる大きさの孔を設けた光反射膜が、前記光吸収層膜の制御光入射側に設けられ、または前記保温層膜および／または伝熱層膜が存在する場合には前記保温層膜および／または伝熱層膜を介して設けられていることを特徴とする光学素子。

6. 請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の光学素子において、

前記光吸収層膜が、前記制御光の波長帯域の光を吸収する色素ないし色素分子凝集体を含有していることを特徴とする光学素子。

7. 請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の光学素子において、

前記光吸収膜、保温層膜、光反射膜のいずれかを介して、光透過膜層が設けられ、

更に前記制御光の収束手段としての凸レンズが、前記光透過層膜を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていることを特徴とする光学素子。

8. 1 個以上の凹面を有するレンズ原版と基板との間の平凸レンズ型空洞内に樹脂を充填することによって基板上に凸レンズを形成し、前記凸レンズの焦点位置に光機能発現部位を配置し、前記光機能発現部位へ入射する光を前記凸レンズによって各々収束させ光束密度を増大させて前記光機能発現部位へ照射することを特徴とする光学素子。

9. 請求項 8 に記載の光学素子であって、

少なくとも光吸収層膜を有し、前記光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を前記凸レンズによって各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする光学素子。

10. 請求項 8 または請求項 9 に記載の光学素子において、

前記凸レンズが、前記レンズ原版と基板との間の平凸レンズ型空洞内に充填された熱可塑性樹脂粉末を加熱溶融圧縮することによって形成されていることを特徴とする光学素子。

11. 請求項 1 ないし 6 または請求項 9 のいずれかに記載の光学素子の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする光制御方法。

12. 請求項 7 または請求項 9 に記載の光学素子に設けられた前記凸レンズに、前記制御光および前記信号光を各々平行ビームとして照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする光制御方法。

13. 請求項11または請求項12に記載の光制御方法において、
前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出すことによって、
強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法。

14. 請求項1ないし6のいずれかに記載の光学素子の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御装置において、

前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段を有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なるように、前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、

また、前記光学素子の前記光吸収層膜は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合う位置に配置されていることを特徴とする光制御装置。

15. 請求項7または請求項9に記載の光学素子に設けられた前記凸レンズに、前記制御光および前記信号光を各々平行ビームとして照射し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることにより、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御装置において、

前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段として前記凸レンズを有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合うように、前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、

また、前記光学素子の前記光吸収層膜は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合う位置に配置されていることを特徴とする光制御装置。

16. 請求項14または請求項15に記載の光制御装置において、

強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すための手段として、前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出す手段を設けたことを特徴とする光制御装置。

17. 1個以上の凹面を有するレンズ原版と基板との間の平凸レンズ型空洞内に樹脂を充填することによって基板上に凸レンズを形成する方法において、前記レンズ原版の母材表面にフォトレジストを塗布し、前記フォトレジスト上に複数の孔を有するパターンを形成した後に母材のエッチングを行い、その際に、フォトレジスト自身のエッチングも進行させることにより前記孔の直径がエッチング工程の進行と共に増大するようにして母材表面に凹面を形成させる方法で作成したレンズ原版を用いることを特徴とする光学素子の製造方法。

補正書の請求の範囲

[1998年12月24日(24.12.98)国際事務局受理:出願当初の請求の範囲2及び8-10は取り下げられた;出願当初の請求の範囲3-7及び11-17は補正された;新しい請求の範囲18-23が加えられた;他の請求の範囲は変更なし。(6頁)]

1. 少なくとも光吸収層膜を含む光学素子中の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および/または光束密度変調を行う光学素子において、前記光吸収層膜の厚さが、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を越えないことを特徴とする光学素子。

2. (削除)

3. (補正後) 請求項1に記載の光学素子において、

前記光吸収層膜に、

前記制御光および前記信号光の波長帯域において光透過性の保温層膜、および/または、

前記制御光および前記信号光の波長帯域において光透過性の伝熱層膜を、以下の群(a)～(i)から選択される構成で積層したことを特徴とする光学素子。

- (a) 光吸収層/保温層膜
- (b) 保温層膜/光吸収層/保温層膜
- (c) 光吸収層/伝熱層膜
- (d) 伝熱層膜/光吸収層/伝熱層膜
- (e) 光吸収層/保温層膜/伝熱層膜
- (f) 伝熱層膜/光吸収層/保温層膜
- (g) 伝熱層膜/光吸収層/保温層膜/伝熱層膜
- (h) 伝熱層膜/保温層膜/光吸収層/保温層膜
- (i) 伝熱層膜/保温層膜/光吸収層/保温層膜/伝熱層膜

4. (補正後) 請求項 3 に記載の光学素子において、
前記光吸収層膜および／または前記保温層膜および／または前記伝熱層膜が自己形態保持性の材質からなることを特徴とする光学素子。

5. (補正後) 請求項 3 に記載の光学素子において、
収束されて照射された前記制御光および前記信号光が通過できる大きさの孔を設けた光反射膜が、前記光吸収層膜の制御光入射側に設けられ、または前記保温層膜および／または伝熱層膜が存在する場合には前記保温層膜および／または伝熱層膜を介して設けられていることを特徴とする光学素子。

6. (補正後) 請求項 3 に記載の光学素子において、
前記光吸収層膜が、前記制御光の波長帯域の光を吸収する色素ないし色素分子凝集体を含有していることを特徴とする光学素子。

7. (補正後) 請求項 3 に記載の光学素子において、
前記光吸収層膜、保温層膜、光反射膜のいずれかを介して、光透過膜層が設けられ、

前記制御光および前記信号光の収束手段としての凸レンズが、前記信号光入射側の光透過層を介して、積層されて設けられていることを特徴とする光学素子。

8. (削除)

9. (削除)

10. (削除)

11. (補正後) 請求項1に記載の光学素子の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする光制御方法。

12. (補正後) 請求項3に記載の光学素子の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々収束させて照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれ、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする光制御方法。

13. (補正後) 請求項7に記載の光学素子に設けられた前記凸レンズに、前記制御光および前記信号光を各々照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結び、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行うことを特徴とする光制御方法。

14. (補正後) 請求項11に記載の光制御方法において、
前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出すことによって、
強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法。

15. (補正後) 請求項12に記載の光制御方法において、
前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出すことによって、
強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法。

16. (補正後) 請求項13に記載の光制御方法において、
前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出すことによって、
強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すことを特徴とする光制御方法。

17. (補正後) 請求項1に記載の光学素子の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選り、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御装置において、

前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段を有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なるように、前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、

また、前記光学素子の前記光吸収層膜は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合う位置に配置されていることを特徴とする光制御装置。

18. (追加) 請求項3に記載の光学素子の光吸収層膜に、互いに波長の異なる制御光および信号光を各々照射し、前記制御光の波長は前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選り、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御装置において、

前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段を有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なるように、前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、

また、前記光学素子の前記光吸収層膜は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合う位置に配置されていることを特徴とする光制御装置。

19. (追加) 請求項7に記載の光学素子に設けられた前記凸レンズに、前記制御光および前記信号光を各々照射し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることにより、前記信号光の強度変調および／または光束密度変調を行う光制御装置において、

前記制御光および前記信号光を各々収束させる収束手段として前記凸レンズを有し、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合うように、前記制御光および前記信号光の光路がそれぞれ配置され、

また、前記光学素子の前記光吸収層膜は、収束された前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点近傍の光子密度の最も高い領域が互いに重なり合う位置に配置されていることを特徴とする光制御装置。

20. (追加) 請求項17に記載の光制御装置において、

強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すための手段として、前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出す手段を設けたことを特徴とする光制御装置。

21. (追加) 請求項18に記載の光制御装置において、

強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すための手段として、前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出す手段を設けたことを特徴とする光制御装置。

22. (追加) 請求項19に記載の光制御装置において、

強度変調および／または光束密度変調を強く受けた領域の信号光光線束を分別して取り出すための手段として、前記光学素子を透過した後、発散していく信号光光線束を、前記信号光光線束の発散角度よりも小さい角度範囲で取り出す手段を設けたことを特徴とする光制御装置。

23. (追加) 1個以上の凹面を有するレンズ原版と基板との間の平凸レンズ型空洞内に樹脂を充填することによって基板上に凸レンズを形成する方法において、前記レンズ原版の母材表面にフォトレジストを塗布し、前記フォトレジスト上に複数の孔を有するパターンを形成した後に母材のエッチングを行い、その際に、フォトレジスト自身のエッチングも進行させることにより前記孔の直径がエッチング工程の進行と共に増大するようにして母材表面に凹面を形成させる方法で作成したレンズ原版を用いることを特徴とする光学素子の製造方法。

図 1

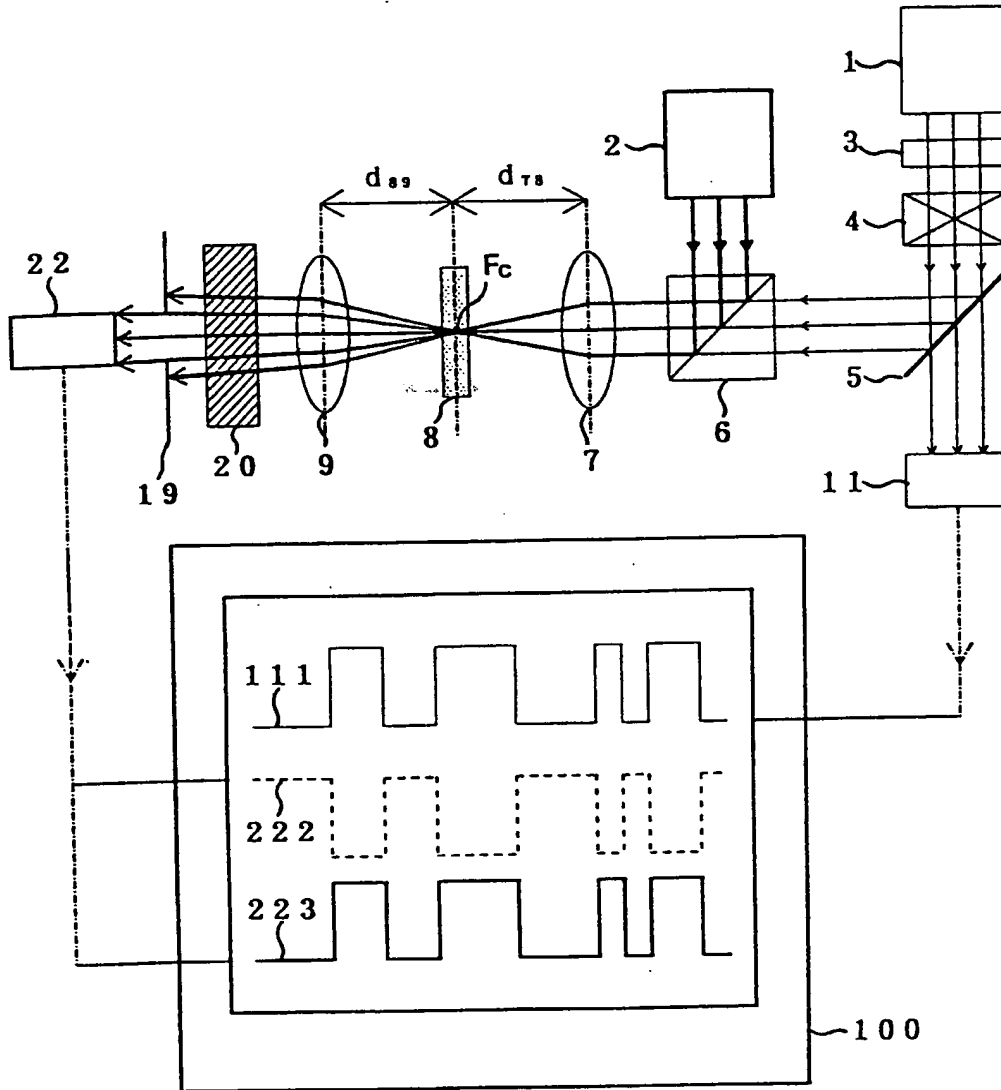


図 2

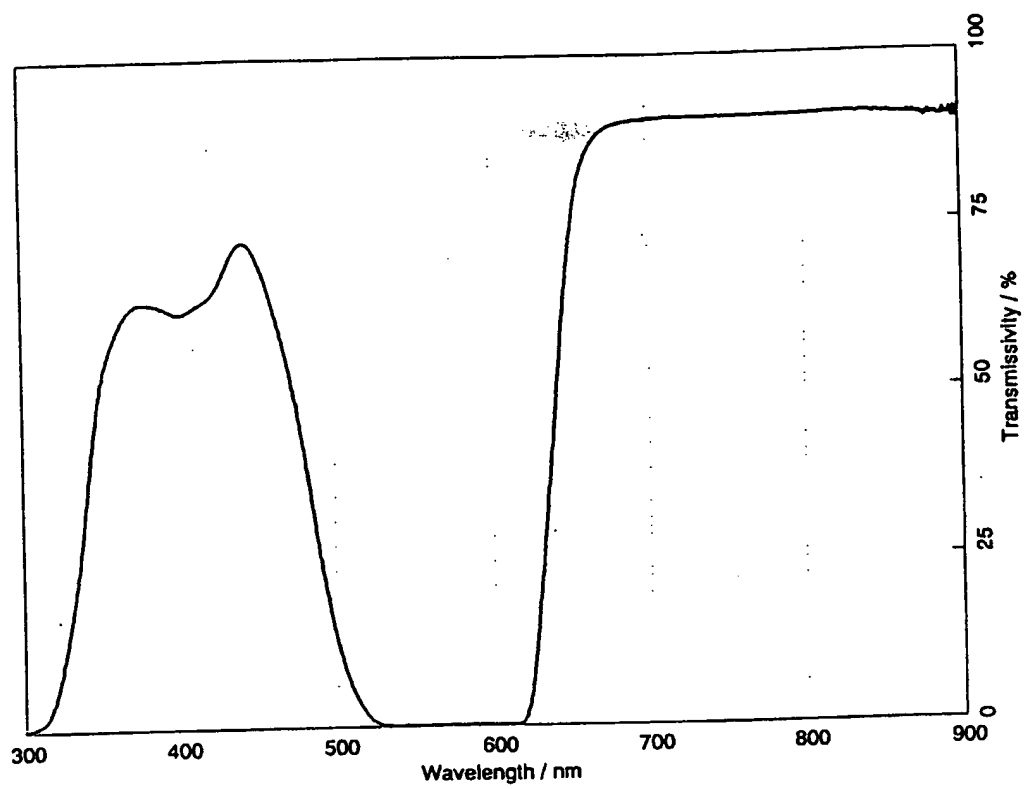


図 3

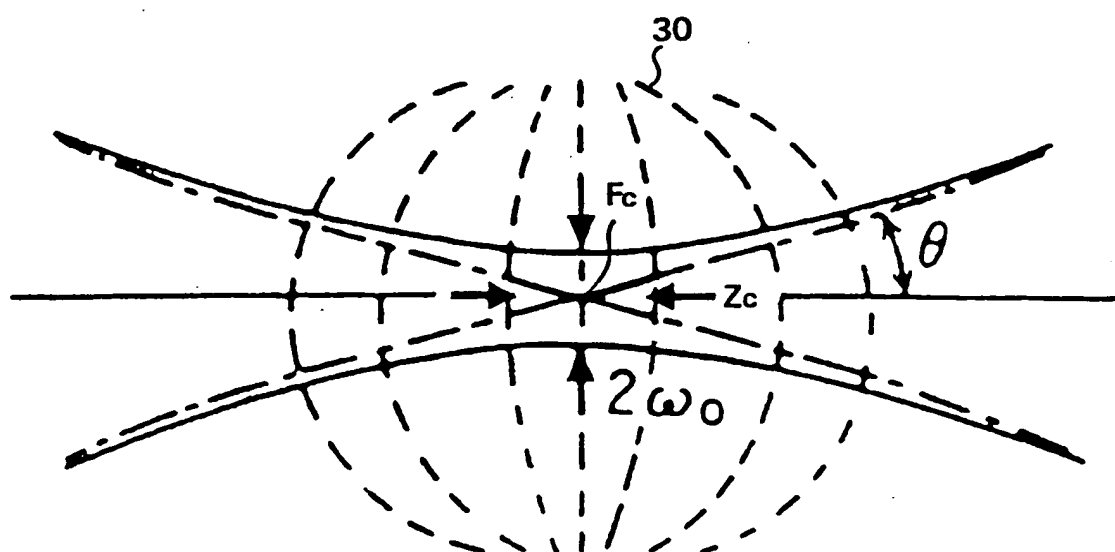


図 4

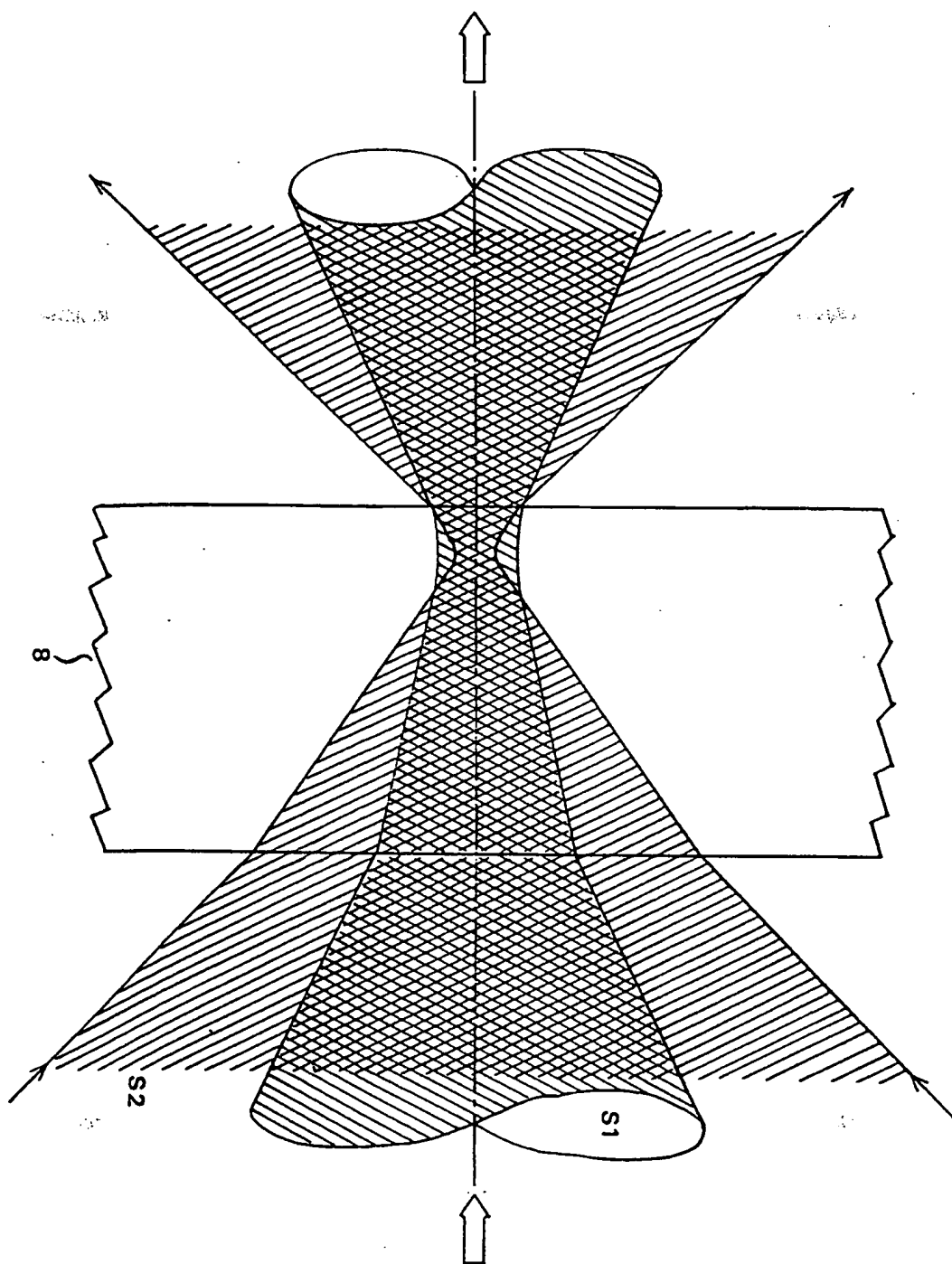


図 5

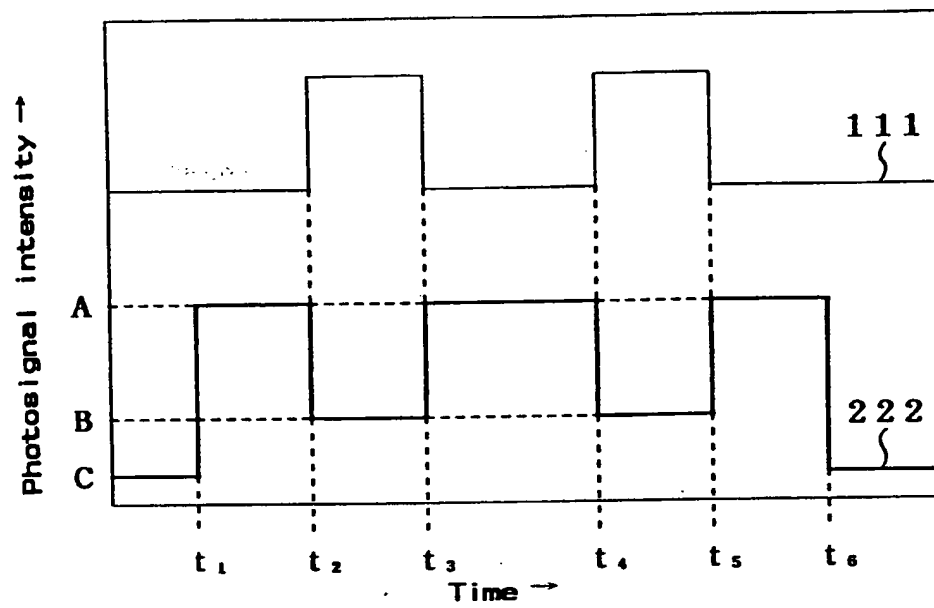


図 6

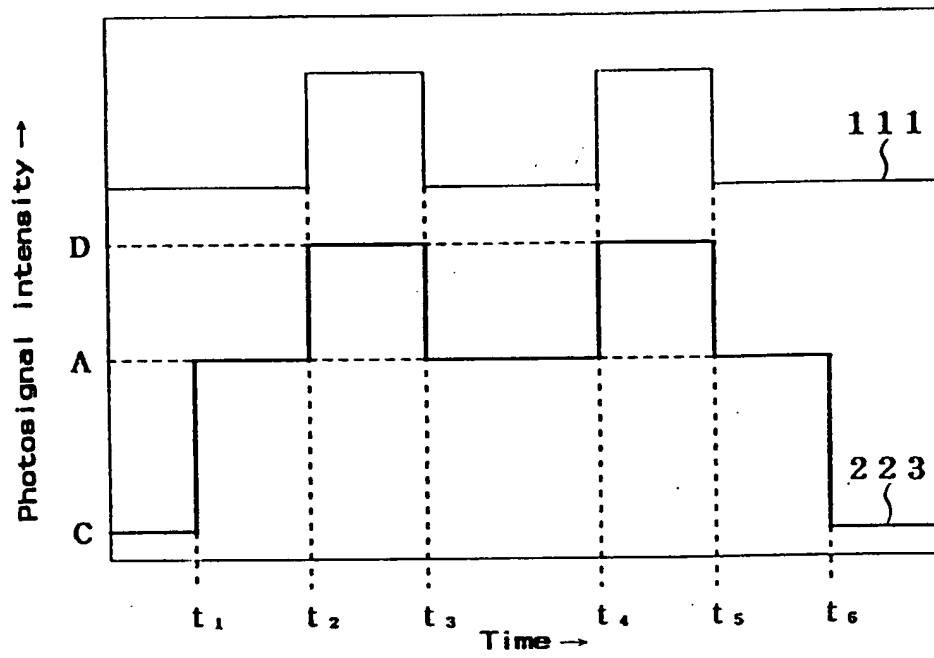


図 7

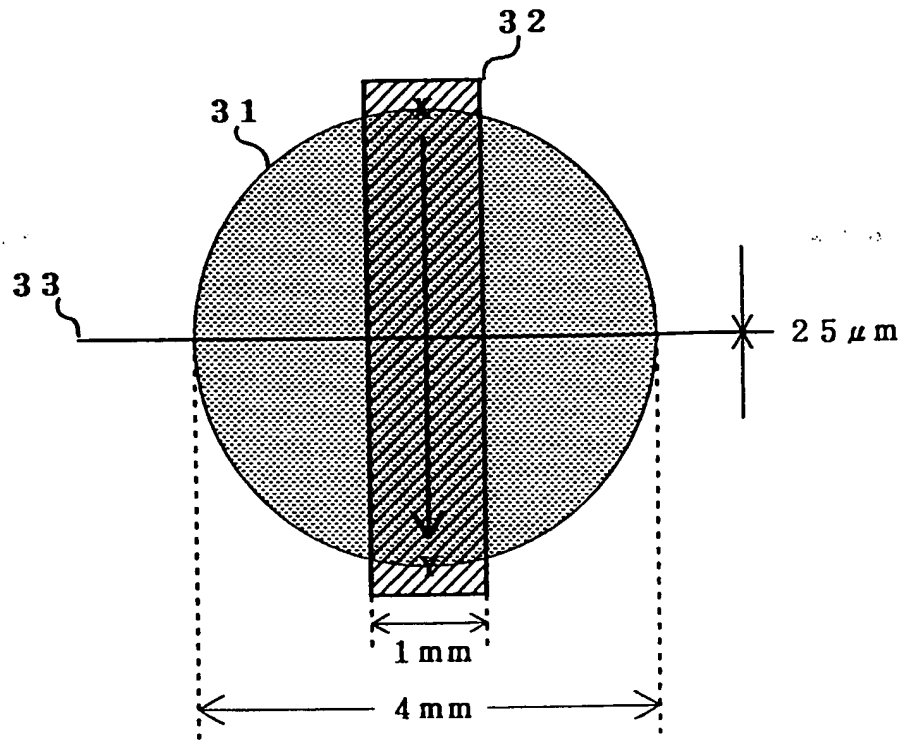


図 8

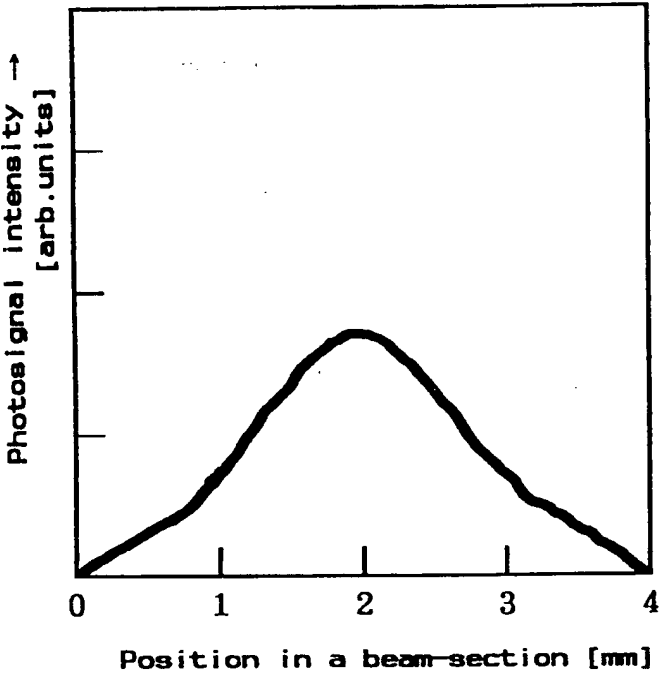


図 9

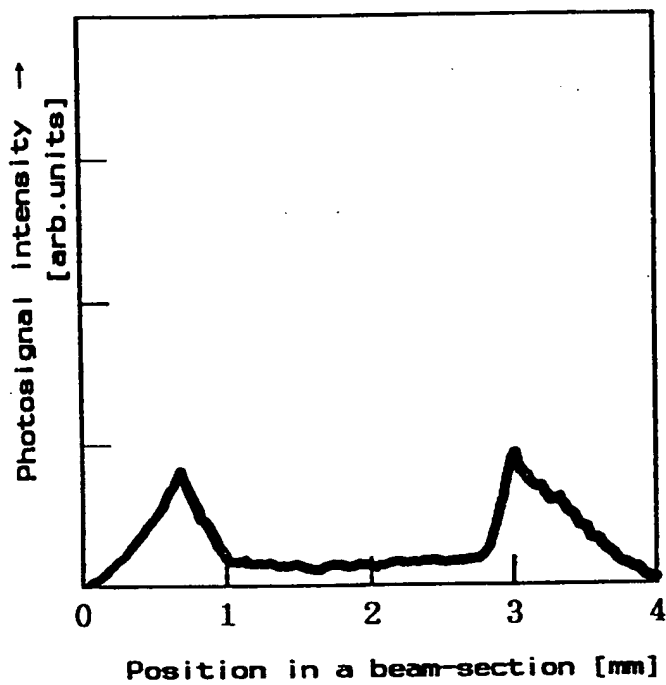


図 10

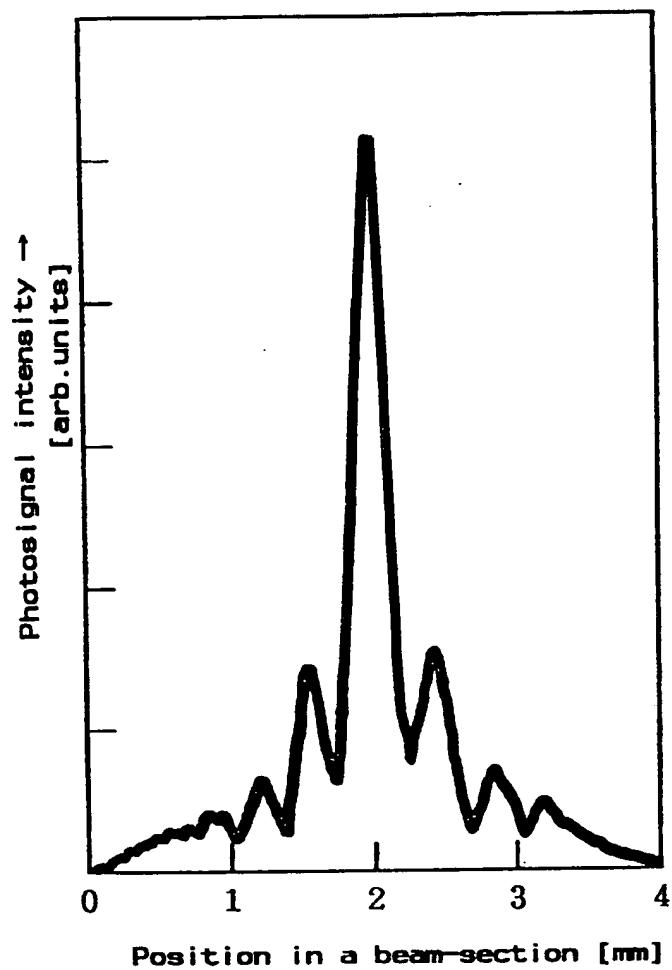


図 11

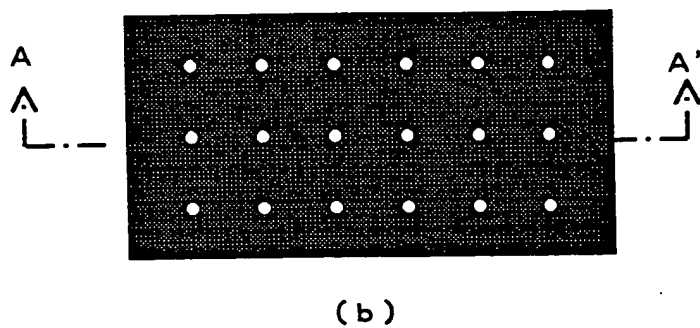
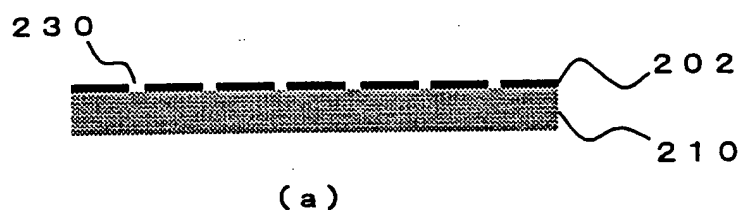
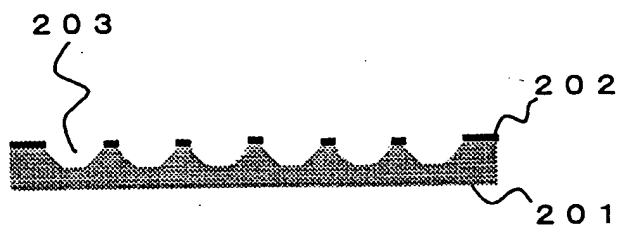
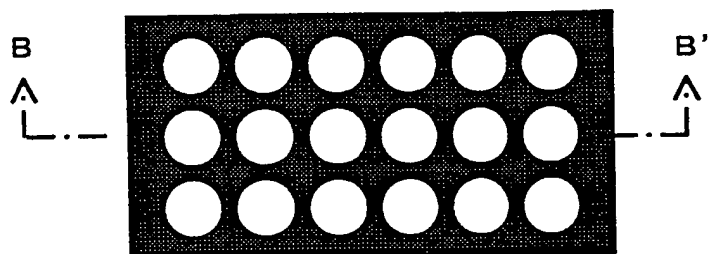


図 1 2



(a)



(b)

図 13

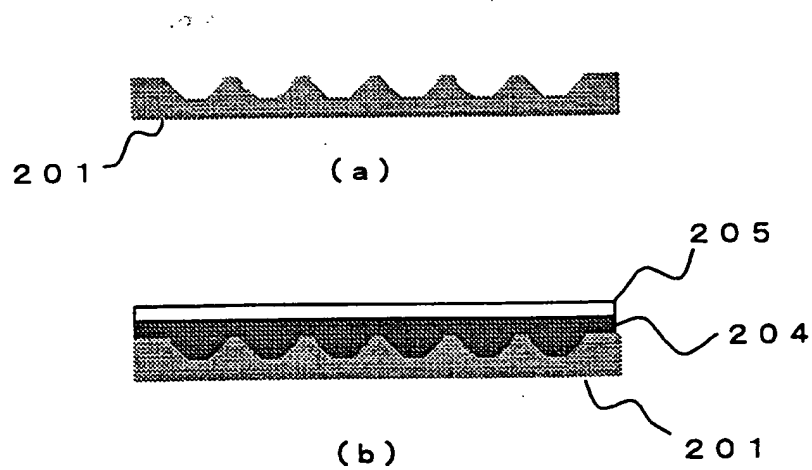


図 14

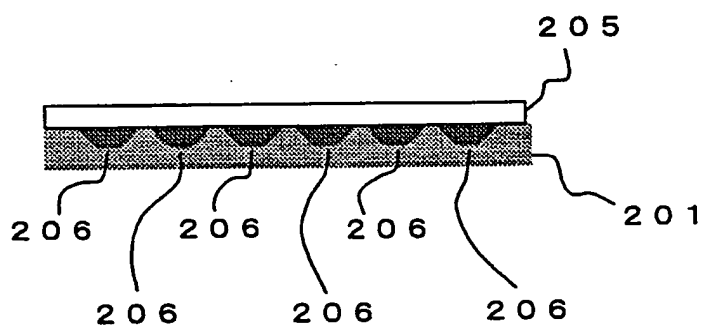


図 15

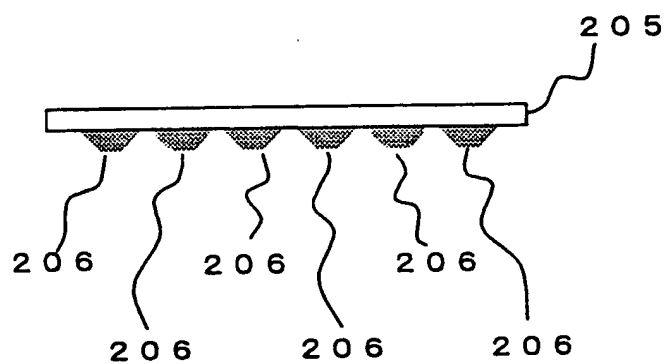


図 16

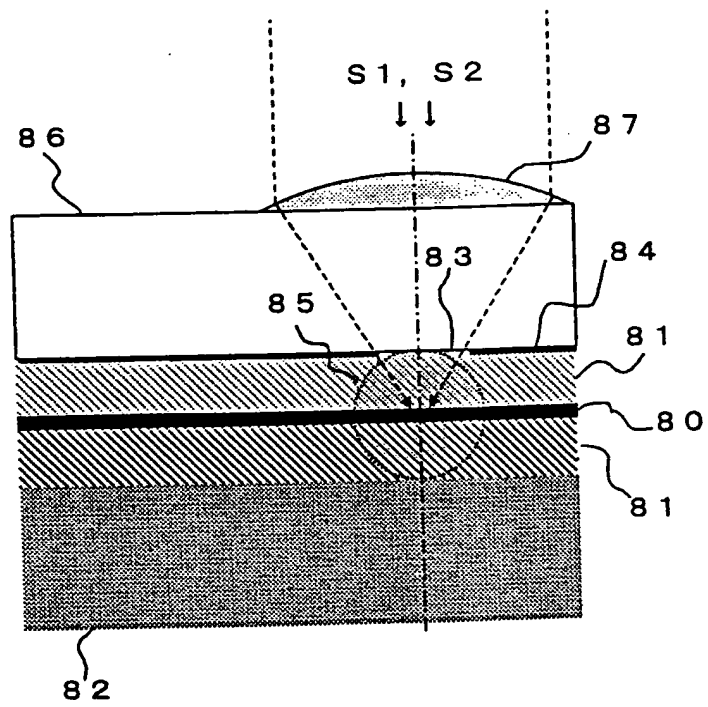


図 17

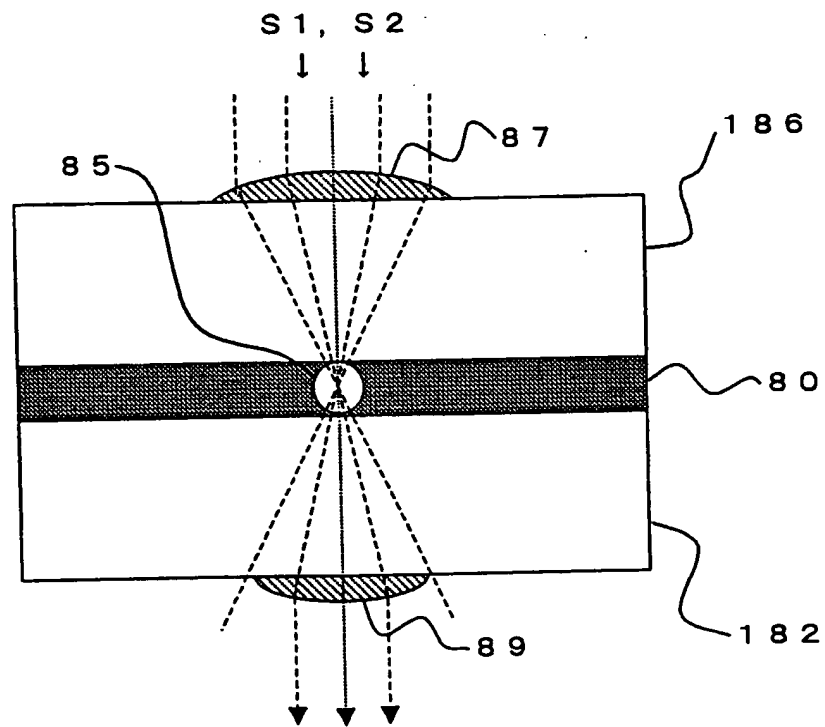
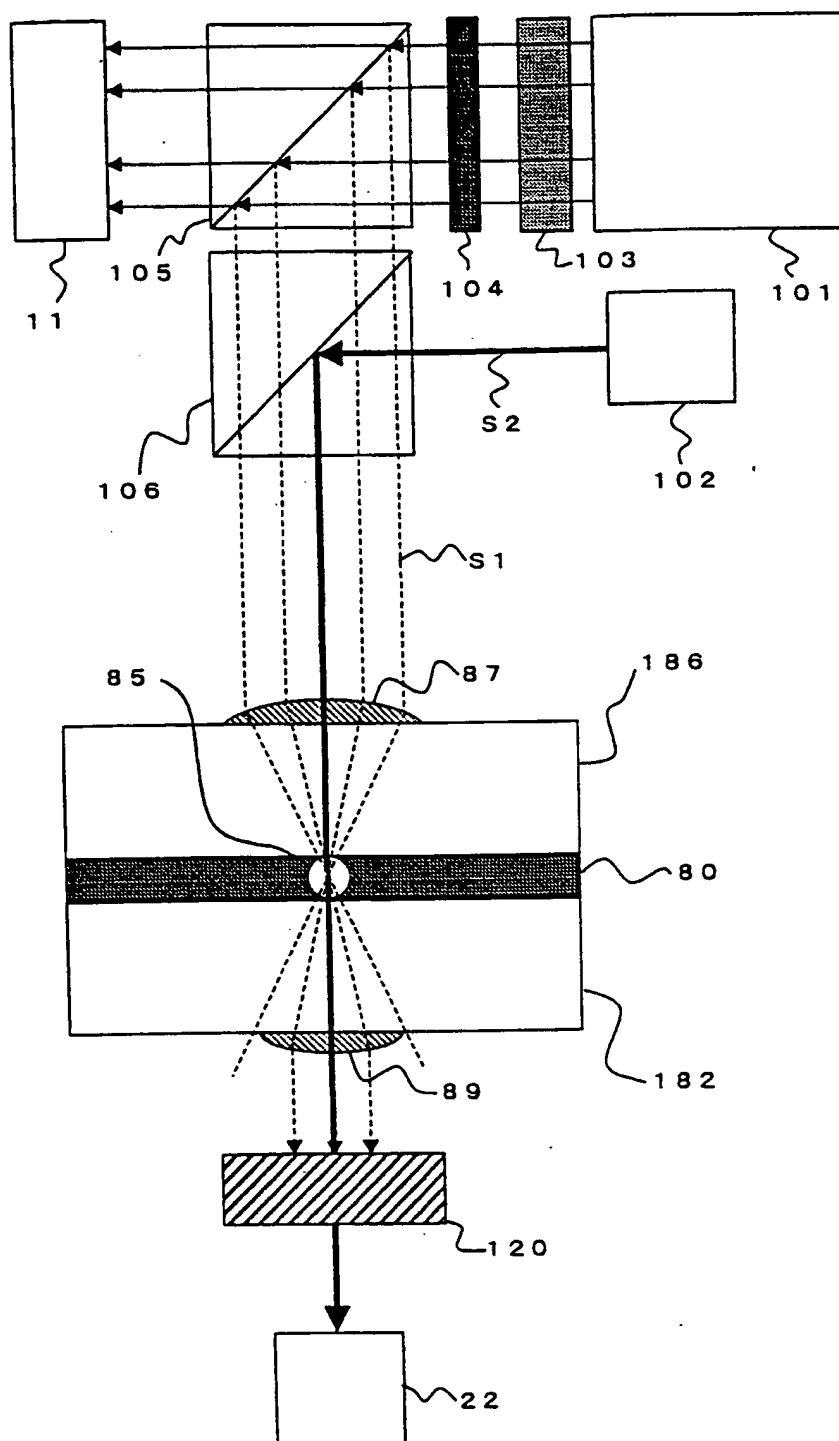


図 18



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/03538

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁶ G02F1/01, 1/29, G02B3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁶ G02F1/01, 1/29, G02B3/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1970-1998

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1972-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 07-318416, A (Nissan Motor Co., Ltd.),	8
Y	8 December, 1995 (08. 12. 95),	9, 10
A	Par. Nos. [0015], [0031] (Family: none)	17
Y	JP, 08-286220, A (Victor Co. of Japan, Ltd.,	9, 10
A	and another),	1-3
	1 November, 1996 (01. 11. 96) (Family: none)	
Y	JP, 07-62022, A (Menicon Co., Ltd.),	10
	3 July, 1995 (03. 07. 95),	
	Par. No. [0032] (Family: none)	
A	JP, 03-122614, A (Matsushita Electric Industrial	17
	Co., Ltd.),	
	24 May, 1991 (24. 05. 91) (Family: none)	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
 27 October, 1998 (27. 10. 98)

Date of mailing of the international search report
 4 November, 1998 (04. 11. 98)

Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/03538

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☒ Claims Nos.: 4-7, 11-16
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

There is no special technical feature common to all the claims.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☒ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 98/03538

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁸ G02F 1/01, 1/29, G02B 3/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁸ G02F 1/01, 1/29, G02B 3/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1970-1998

日本国公開実用新案公報 1972-1998

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	J P, 07-318416, A (日産自動車株式会社) 08. 12 月. 1995 (08. 12. 95), 【0015】, 【0031】 (ファミリーなし)	8 9, 10 17
Y A	J P, 08-286220, A (日本ビクター株式会社外1名) 0 1. 11月. 1996 (01. 11. 96) (ファミリーなし)	9, 10 1-3
Y	J P, 07-62022, A (株式会社メニコン) 03. 7月. 1 995 (03. 07. 95), 【0032】 (ファミリーなし)	10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27. 10. 98

国際調査報告の発送日

04.11.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

津田 俊明

2 K

7 6 2 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 03-122614, A (松下電器産業株式会社) 24. 5 月. 1991 (24. 05. 91) (ファミリーなし)	17

第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの1の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☒ 請求の範囲 4-7, 11-16 は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの2の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるときの国際調査機関は認めた。

すべての請求の範囲について、共通する特別な技術的特徴は存在しない。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。